P. 952

BOSTON
MEDICAL LIBRARY
8 THE FENWAY

LES PROJECTILES

DES ARMES DE GUERRE

LEUR ACTION VULNÉRANTE

LES PROJECTILES
DES ARMES DE GUERRE
LEUR ACTION VULNÉRANTE

PAR

H. NIMIER
Médecin principal de deuxième classe,
Professeur au Val-de-Grâce.

ED. LAVAL
Médecin
aide-major de première classe.

Avec 36 figures dans le texte.

PARIS
ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET Cie
FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1899
Tous droits réservés.

23.Y.57

BOSTON MEDICAL
MAR 24 1922
LIBRARY

INTRODUCTION

Etudiés en tant qu'agents de blessures, les *projectiles* que lancent les armes à feu en service à notre époque doivent être envisagés au double point de vue de leur *masse* et de leur *mouvement;* leur *puissance vulnérante* se mesure, en effet, au produit de l'une par le carré de l'autre.

Inerte, le projectile nous intéresse par sa masse constitutive, ses dimensions, sa forme, son poids. Actif, il subit l'action des forces extérieures : pesanteur, résistance de l'air, qui modifient son mouvement et, par suite, sa puissance vulnérante. L'étude du projectile en repos devra donc être complétée par celle du projectile en action.

Toutefois, une première division s'impose,

en rapport avec les différences d'armement de l'artillerie et de l'infanterie. La première utilise les *gros projectiles*, la seconde tire les *petits projectiles* et, bien que les modifications successivement apportées aux gros projectiles tendent de plus en plus à réduire ce que leur mode d'action vulnérante peut avoir de particulier, il y a encore lieu de leur consacrer un chapitre distinct.

Nous examinerons donc, en tant qu'agents vulnérants, d'abord les projectiles d'infanterie, puis les projectiles d'artillerie.

Cette étude n'est que la reproduction de leçons professées au Val-de-Grâce devant les médecins stagiaires ; aussi le projectile y est-il envisagé seulement comme *outil vulnérant* ; toutes les données purement balistiques sont laissées de côté, de même qu'il n'est question ni des projectiles anciens, ni de ceux qui sont encore en expérience.

BOSTON MEDICAL
MAR 24 1922
LIBRARY

I

PROJECTILES D'INFANTERIE

Depuis leur première apparition sur les champs de bataille, les armes à feu portatives ont subi de multiples modifications qui, au point de vue chirurgical, ont eu pour effets principaux :

1° De réduire la masse du projectile ;

2° D'augmenter la force vive dont il est animé.

D'un certain intérêt chirurgical est aussi la grande rapidité du tir des fusils modernes, laquelle, concordant avec l'accroissement du nombre des combattants, nous oblige à prévoir dans les luttes futures un chiffre de blessés plus élevé que dans le passé.

Ajoutons que la transformation des armes de petit calibre doit suivre les progrès incessants de la balistique et, par suite, les modèles

actuellement en service dans les diverses armées ne sauraient être tenus pour définitifs ; même si nous laissons de côté tout ce qui a trait à la mécanique de l'arme, nous devons reconnaître que les qualités vulnérantes de son projectile ne sont pas définitivement établies.

En France, voici à peine quelque douze ans que l'armement de l'infanterie a été transformé par l'adoption du *fusil modèle 1886,* dit fusil Lebel. Or, déjà cette arme diffère notablement des fusils en usage chez quelques autres nations européennes, et surtout elle est loin de répondre aux desiderata tenus pour réalisables dans les fusils de l'avenir.

Si le fusil actuel a cessé de trahir sa présence par un nuage de fumée grâce à l'adoption des nouvelles poudres, le fusil de l'avenir tirera, dit-on, sans bruit bien appréciable et pourra lancer une série ininterrompue de projectiles à une distance telle que le tireur ne saurait en percevoir le point de chute.

Les *revolvers* ont, eux aussi, suivi la voie du progrès, quoique d'une façon moins rapide. Ils se sont beaucoup perfectionnés dans ces

dernières années et, actuellement encore, on s'attache à faire bénéficier la portée et la précision de leurs projectiles des découvertes relatives aux projectiles des fusils.

Mais, laissons de côté ces données et ces prévisions balistiques, et relevons que, à notre point de vue chirurgical, il importe surtout de connaître :

1° Les *qualités physiques des balles actuelles*, autrement dit ces mêmes balles au repos, avec leurs forme, calibre, longueur, poids et constitution :

2° *Leurs qualités dynamiques*, autrement dit les balles en activité, et à cet égard une division s'impose dans l'étude, suivant que l'on considère les divers mouvements du projectile, sa force vive, son coefficient de pression, enfin son mode de réaction au choc ;

3° Nous nous occuperons particulièrement de l'*action des balles sur le but qu'elles frappent* et nous essayerons de donner du mécanisme de cette action une explication satisfaisante.

Dans une quatrième partie, seront passés en revue les *effets des petits projectiles sur le corps humain*.

Enfin, comme toutes les considérations qui précèdent auront trait aux balles des fusils, il nous restera, pour être complets, à dire quelques mots des balles des revolvers actuels d'ordonnance.

§ 1. — Qualités physiques des projectiles.

1° Forme. — Alors que les projectiles antérieurs à l'année 1886 revêtaient des formes plus ou moins variées, celles des projectiles de l'époque actuelle sont presque identiques. Le corps cylindrique se termine à l'avant par une extrémité ogivale, à l'arrière par une surface circulaire plane ou très légèrement excavée. Parfois, l'ogive est coupée à sa pointe qui présente alors un méplat d'environ un millimètre de diamètre. Les balles française et italienne offrent ce caractère. Toutes les autres balles sont à extrémité ogivale. La base est excavée faiblement dans les projectiles russe, italien, espagnol, plus profondément dans les projectiles belge, suisse.

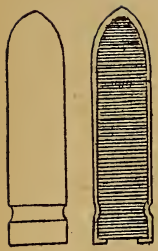
La surface extérieure du projectile généra-

lement lisse, peut présenter une rainure plus ou moins appréciable à quelques millimètres de la base (balles allemande, anglaise, française, italienne, turque). Cette gorge répond à l'étranglement produit par le collet des cartouches.

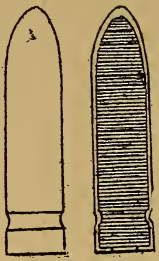
2° Calibre. — Les calibres oscillent entre 8 millimètres et 6^{mm},5. Ils sont de :

8^{mm} (Autriche, Danemark, France, Japon, Pérou, Portugal, Suède).
7,9 (Allemagne).
7,7 (Angleterre).
7,65 (Belgique, Turquie, République Argentine).
7,62 (Russie).
7,5 (États-Unis, Brésil, Suisse).
7,2 (Serbie).
7 (Espagne).
6,65 (Roumanie).
6,50 (Italie, Hollande, Norwège, Mexique).

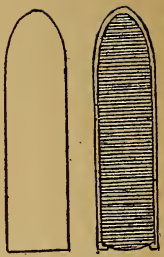
De ce tableau il ressort que les principales puissances militaires européennes, — à part l'Italie — ont encore des fusils dont le calibre est compris entre 7 et 8 millimètres. L'innovation des calibres inférieurs à 7 millimètres est le propre des petites puissances dont le budget n'est pas grevé par l'entretien et l'armement d'un contingent considérable ; mais, que



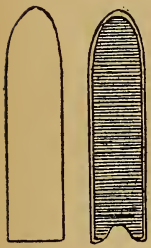
Allemagne.



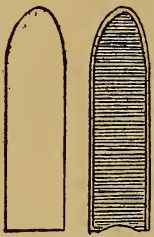
Angleterre.



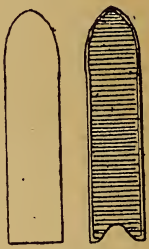
Autriche.



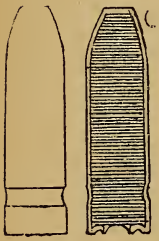
Belgique.



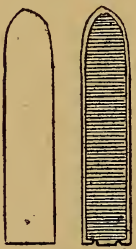
Danemark.



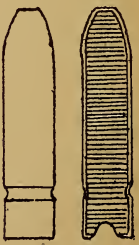
Espagne.



France.



Hollande.



Italie.

Fig. 1. — Balles des fusils actuellement

feuille de cuivre repliée et tortillonnée dans une excavation de la base du noyau.

§ 2. — Qualités dynamiques des projectiles.

Le coup de fusil est tiré, nous n'avons plus le projectile dans la main, il vole, il est en quelque sorte vivant. Quelle est la force dont il est animé? Apparaissant au cours de la déflagration de la poudre, du fait de l'expansion des gaz produits, cette force se traduit sous forme de mouvements et même, pour un observateur superficiel, seul le mouvement de propulsion du projectile indique que celui-ci n'est plus un corps inerte. En réalité, les mouvements des balles sont multiples.

1° Mouvements du projectile. — En sus des *vibrations moléculaires* dont est animée la masse constituante du projectile, ce dernier possède trois sortes de mouvements :

Le mouvement en avant ou *mouvement de propulsion;*

Le *mouvement de rotation;*

Enfin, des *mouvements anormaux.*

a. *Vibrations du projectile.* — Pendant la

traversée du canon du fusil, la balle subit en raison de son forcement une double compression. D'une part, elle est prise dans le sens de sa longueur entre l'impulsion que lui impriment les gaz de la poudre et la résistance que lui crée son frottement contre les rayures ; de là, quand elle s'échappe de l'âme de l'arme, une détente suivie de *vibrations longitudinales*. D'autre part, forcé dans un tube plus étroit que son propre diamètre, le projectile comprimé subit, au moment où il devient libre, une expansion latérale, d'où des *vibrations transversales*. De fait, tout en progressant et tournant autour de son axe longitudinal, comme nous allons le dire, la balle vibre. Nous sommes peu renseignés sur ce que sont ces vibrations que notre oreille peut percevoir.

b. *Le mouvement de propulsion* s'appelle encore vulgairement la *vitesse*. Mais cette vitesse varie suivant qu'on la considère au sortir de la bouche du canon, c'est alors la *vitesse initiale*, ou à une certaine distance de cette bouche, c'est la *vitesse restante*.

La *vitesse initiale* est, à proprement parler, la distance que la balle parcourrait dans l'unité

de temps (la seconde) si son mouvement de translation était supposé constant.

La vitesse initiale des balles de petit calibre est notablement plus élevée (un tiers en plus environ) que celle de leurs devancières. C'est ainsi, pour prendre un exemple, que la balle du fusil Gras de 11 millimètres ayant une vitesse de 450 mètres, la balle Lebel de 8 millimètres a une vitesse de 640 mètres, d'où un accroissement de 190 mètres.

En général, les balles de $7^{mm},50$ à 8 millimètres ont des vitesses voisines de celle de la nôtre. Voici des exemples :

La balle	allemande	de $7^{mm},9$	a V = 640	mètres.
—	anglaise	de 7 , 7	— = 630	—
—	belge	de 7 , 65	— = 606	—

Au-dessous de 7 millimètres, les vitesses initiales sont égales ou supérieures à 700 mètres.

La balle	Italienne	de $6^{mm},5$	a V = 700	mètres.
—	norwégienne		— = 718	—
—	hollandaise		— = 745	—
—	roumaine		— = 746	—

Il est incontestable que l'accroissement de la vitesse marche presque toujours de pair avec la réduction du calibre.

Mais cette vitesse initiale, utile sans doute à connaître, nous importe peu au point de vue chirurgical. Les lésions que nous serons à même d'observer auront toujours été produites à une distance plus ou moins grande de la bouche du canon. Or, la vitesse du projectile se sera modifiée du fait des agents extérieurs : *résistance de l'air*, *attraction de la pesanteur*. Et ces influences agissant sans cesse auront accumulé leurs effets pendant toute la course du projectile, tandis que la force de propulsion qui animait ce dernier, se sera éteinte progressivement. Ce qui revient à dire que la balle une fois sortie de l'arme verra sa vitesse se modifier à tous les moments de son trajet. Pour chacun de ceux-ci, la vitesse de propulsion que possède encore le projectile est dite *vitesse restante*.

Les vitesses restantes des balles actuelles ont, tout comme la vitesse initiale, bénéficié des progrès réalisés dans l'armement. Ce résultat est dû en grande partie à l'impulsion première plus forte, mais aussi à la forme très allongée et au petit diamètre de la balle qui diminuent les résistances.

Comme on le voit sur le tableau ci-contre,

TABLEAU COMPARATIF DES VITESSES RESTANTES ENTRE 0 ET 2.000 MÈTRES

CHEMIN PARCOURU	ALLEMAGNE	ANGLETERRE	AUTRICHE	BELGIQUE	ÉTATS-UNIS	ESPAGNE	FRANCE	HOLLANDE	ITALIE	NORWÈGE	PORTUGAL	ROUMANIE	RUSSIE	SUÈDE	SUISSE
0 mètre	610	571	620	606.1	608	699	610	715	700	718	666	716	613	718	611
100 mètres	566.5	»	505	»	»	»	550	»	»	»	»	»	»	»	»
200 —	501.5	455	456	468.8	»	529	488	538.1	511	538.8	»	521	498	538.8	459
300 —	443.8	»	416	»	»	»	438	»	»	»	»	»	»	»	»
400 —	392.9	377	385	382.1	335	421	397	421.3	»	431.1	»	406	407	431.1	366
500 —	318.7	»	360	»	»	»	361	»	»	»	»	»	»	»	»
600 —	319.5	321	338	322.5	»	355	335	311.9	331	359.3	»	331	313	359.3	305
700 —	299.1	»	319	«	»	»	311	»	»	»	»	»	»	»	»
800 —	281.1	280	303	278.1	»	305	290	293.6	»	308	»	279	297	308	261
900 —	272.2	»	289	»	211	»	272	»	»	»	»	»	»	»	»
1000 —	260.9	219	277	216.1	»	261	255	255	263	269	»	211	262	269	229

TABLEAU COMPARATIF DES VITESSES RESTANTES ENTRE 0 ET 2.000 MÈTRES

CHEMIN PARCOURU	ALLEMAGNE	ANGLETERRE	AUTRICHE	BELGIQUE	ÉTATS-UNIS	ESPAGNE	FRANCE	HOLLANDE	ITALIE	NOWRÈGE	PORTUGAL	ROUMANIE	RUSSIE	SUÈDE	SUISSE
1100 —	250	»	266	»	»	»	241	»	»	»	»	»	»	»	»
1200 —	239.5	223	255	219.6	»	»	228	»	»	»	»	213	231	»	203
1300 —	229.5	»	246	»	190	»	217	»	»	»	»	»	»	»	»
1400 —	219.9	203	237	198.5	»	»	206	»	»	»	»	190	212	»	183
1500 —	210.8	»	229	»	»	204	197	191.9	»	245.4	»	»	»	245.4	»
1600 —	202.	185	222	181.1	»	»	188	»	»	»	»	172	193	»	166
1700 —	193.5	»	215	»	»	»	180	»	»	»	»	»	»	»	»
1800 —	185.4	171	209	166.5	150	»	173	»	»	»	»	157	178	»	152
1900 —	177.7	»	202	»	»	»	165	»	»	»	»	»	»	»	»
2000 —	170.3	159	197	151.1	»	165	158	153.8	177	165.9	»	144	165	165.9	140

les vitesses restantes décroissent progressivement d'une façon assez inégale pour un même projectile. C'est ainsi que pendant les débuts de la course, la diminution de vitesse est assez brusque, et à partir d'une distance que l'on peut évaluer approximativement à 600 mètres, la décroissance est bien moins rapide. La balle allemande, pour citer un exemple, perd 74 mètres dans les 100 premiers mètres de son trajet, 65 dans les 100 mètres suivants, puis 58, 51, 44, 29. De 600 à 1,000 mètres elle ne perd plus qu'une soixantaine de mètres, c'est-à-dire environ 12 mètres par 100 mètres. Enfin, de 1,000 à 2,000, la perte est encore moindre, puisqu'elle n'atteint pas 100 mètres, elle n'est que de 90 mètres, ce qui donne une perte moyenne de 9 mètres par 100 mètres.

On se rendra encore bien compte de la vitesse des balles actuelles et de son mode de ralentissement par la lecture du tableau suivant, qui donne, en secondes, la durée du parcours des diverses tranches de la trajectoire des balles allemande et espagnole.

LONGUEUR DU TRAJET PARCOURU	BALLES	
	ALLEMANDE	ESPAGNOLE
	seconde.	seconde.
100 mètres.	0.116	»
200 —	0.354	»
300 —	0.564	»
400 —	0.801	»
500 —	1.068	»
600 —	1.368	1.24
700 —	1.701	»
800 —	2.049	»
900 —	2.412	»
1.000 —	2.791	2.26
1.100 —	3.184	»
1.200 —	3.596	»
1 300 —	4.023	»
1.500 —	4.933	»
1.700 —	5.919	»
1.900 —	6.989	»
2.000 —	7.559	7.80
3.000 —	»	15.59
3.800 —	»	29.45

Les considérations qui précèdent sur les vitesses restantes ne sont pas superflues ; elles permettent de prévoir que les traumatismes seront différents, toutes choses égales d'ailleurs, suivant qu'ils auront été produits par un projectile tiré à courte ou à grande distance.

Si, de plus, l'on compare les vitesses res-

tantes des diverses balles actuelles, il en ressortira quelques notions intéressantes.

Les vitesses initiales, on l'a vu, varient beaucoup d'une balle à l'autre, au point qu'elles présentent des différences égales, voire même supérieures à 100 mètres. Pour les vitesses restantes, l'écart diminue à mesure que le chemin parcouru est plus long et, après un trajet de 2.000 mètres, ces divergences sont presque effacées. Des balles, comme la balle hollandaise, qui sont lancées avec des vitesses de 745 mètres, arrivent à 2,000 mètres à ne plus posséder qu'une vitesse de 153 mètres, inférieure même à la vitesse restante de la balle française (158 mètres) partie cependant avec un retard de 105 mètres (sa vitesse initiale est, en effet, de 640 mètres). La balle roumaine, dont la vitesse initiale est de 746 mètres, tombe à 144 mètres, à cette même distance de 2,000 mètres. Par contre, la balle autrichienne qui, au départ, n'a que 620 mètres, conserve mieux sa vitesse, car à 2,000 mètres, c'est elle qui possède de beaucoup le premier rang, elle a encore 197 mètres.

La supériorité, en tant que vitesse, des balles

de calibre réduit ($6^{mm},5$) ne doit donc pas être cherchée aux grandes distances. En réalité, elle ne se fait sentir que jusqu'aux 900 ou 1,000 premiers mètres de la course. Jusque-là, les balles de $6^{mm},5$ ont une avance assez sérieuse qui peut varier de 80 à quelques mètres. A partir de 900 mètres environ, les vitesses sont voisines de celles des autres balles. Passé 1,800 mètres, elles ont même une tendance à leur devenir inférieures.

Il en résulte qu'en tout état de cause, dans les lésions produites par les balles de $6^{mm},5$, on est porté à chercher des différences avec celles produites par les balles de 7 à 8 millimètres, au moins dans les premières parties de la course du projectile et vers la fin de celle-ci.

Remarquons également que les vitesses restantes des balles de 7 à 8 millimètres diffèrent assez peu les unes des autres, de quelques mètres seulement. Il ne faut pas, en effet, prendre à la lettre pour mathématiquement exacts les chiffres que nous donnons. Ce sont des chiffres moyens : les vitesses des balles varient beaucoup, dans la réalité, sous l'influence de nombreux facteurs, les uns inhérents à l'arme, à

la cartouche, au tireur, les autres extérieurs et indépendants de toute précision (vent, température, hygrométricité). Ainsi, la vitesse initiale de la balle française peut varier de 630 à 645 mètres dans telle ou telle circonstance, et cela, malgré toute la précision que l'on peut essayer de donner au tir.

c. *Mouvement de rotation.* — On a cherché à communiquer au projectile un mouvement de rotation sur son axe, de façon à le faire progresser à travers la résistance de l'air, à la façon d'une vrille, d'un perforateur : cette résistance est ainsi ramenée à son minimum d'action. Pour arriver à ce résultat, l'intérieur du canon des fusils est muni de *rayures*, c'est-à-dire de plusieurs évidements parallèles les uns aux autres et décrivant un trajet hélicoïdal. Le nombre de ces rayures est variable, généralement il est de 4 ou 5. Tout aussi variable est la courbe qu'elles décrivent ; l'on nomme *pas d'une rayure* la longueur suivant laquelle celle-ci fait un tour complet dans l'intérieur de l'arme, soit $0^m,24$ pour le fusil Lebel.

Enfin, le *sens des rayures* diffère suivant les pays. En France, les armes sont rayées de

droite à gauche, c'est-à-dire que si l'on regarde l'âme par la bouche, la rayure du haut vient de droite et s'éloigne vers la gauche. Les armes étrangères sont généralement rayées de gauche à droite.

Comme la balle est d'un calibre légèrement supérieur à celui du canon, en y pénétrant elle éprouve de ce fait un forcement et glisse en obéissant aux rayures. Elle acquiert ainsi un mouvement de rotation autour de son axe longitudinal, et par suite de sa propulsion en avant, elle décrit une spire. Plus le tour de spire est court, plus nombreuses sont les rotations complètes de la balle sur son grand axe dans l'unité de temps, plus est grande sa *vitesse de rotation*. Celle-ci dépend évidemment de la vitesse de propulsion et du pas des rayures. Ces deux éléments connus, on peut calculer la vitesse de rotation en divisant par la longueur du pas des rayures la vitesse initiale.

Ce mouvement de rotation a pour premier effet balistique de maintenir la balle cylindro-ogivale tangente à sa trajectoire, autrement dit de lui permettre d'avancer la pointe en avant, ce qui n'aurait pas lieu autrement.

La preuve en est que si l'on tire une de ces balles dans un fusil à âme lisse, au sortir de l'âme, elle ne tarde pas à prendre, du fait de la résistance de l'air, un mouvement de rotation autour de son petit axe : elle progresse en pirouettant.

Plus la balle est longue, plus elle a besoin, pour rester stable sur sa trajectoire, de posséder une rotation rapide : aussi le mouvement est-il plus accéléré dans les projectiles actuels qu'il ne l'était dans les anciens. Tandis que la balle du fusil Gras décrivait 850 tours par seconde, la balle Lebel en décrit de 2,550 à 2,560. La balle italienne de 6^{mm},5 a une vitesse de 3,500 tours.

Il est à noter que ce mouvement de rotation ne se modifie pas au même degré que le mouvement de propulsion et que, pratiquement, nous pouvons admettre qu'il demeure presque constant. De là résulte que l'importance de ce mouvement de rotation, théoriquement au moins, va grandissant, à mesure que la balle progresse. Sans doute, comme le fait remarquer Habart, la balle du Mannlicher autrichien qui, dans la première seconde de sa course,

avec une propulsion de 620 mètres, tourne 2,800 fois sur son axe, fait seulement en un mètre de même trajet quatre rotations sur elle-même ou une rotation pour un trajet de $0^m,25$: cela revient à dire qu'elle ne tourne pas deux fois sur elle-même en traversant à cette allure le corps humain de part en part, pas une fois en passant à travers la plupart des segments des membres. Mais il n'en est plus de même aux grandes distances. Ainsi, à 2,500 mètres, la vitesse de propulsion de la balle est tombée à 182 mètres ; si on lui concède encore une vitesse de rotation de 2,480 tours. en un mètre de trajet elle tourne 12 fois sur elle-même, ce qui fait 3 tours par $0^m,25$, peut-être même davantage pendant la traversée du corps humain, si l'on tient compte du ralentissement possible de sa course par le fait de la rencontre et du bris des os.

Cette différence d'état se traduit-elle dans les effets physiques produits sur les tissus par les projectiles ? Il nous paraît rationnel de le croire, d'autant que la balle arrivée au terme de sa course, son mouvement de propulsion épuisé, est encore animée de son mouvement

de rotation ; ce dernier ne peut s'éteindre qu'en se transformant, d'où une modification particulière des corps placés au contact du projectile.

d. *Mouvements anormaux, de tangage, de pirouette, de toupie.* — Dans les balles actuelles très longues, le centre de gravité ne coïncide pas avec le centre de figure, il se trouve en arrière de leur mi-longueur, et de là résulte que le projectile est sollicité à perdre la tangence à la trajectoire. Au lieu de progresser la pointe en avant, il oscille, il *tangue,* et par suite peut frapper le but non plus perpendiculairement par son ogive, mais obliquement plus ou moins par le travers. La surface de frappe est donc modifiée, elle se trouve élargie.

Le même fait se produit encore — et à un plus haut degré — quand la balle dans sa course heurte, même sans se déformer, un obstacle, ou bien quand elle traverse un milieu non homogène, Alors, en effet, le mouvement de tangage se modifie, se complète pour ainsi dire, se transformant en un mouvement de *pirouette.* Au lieu d'osciller autour de son centre de gravité, le projectile tourne dans le sens de sa course, autour d'un axe horizontal

passant par un point quelconque de son axe longitudinal, ou par sa pointe, ou par sa base.

Ces mouvements de pirouette s'observent surtout dans les projectiles de ricochet, dont la déformation habituelle contribue encore à augmenter l'étendue de la surface de choc sur le but qu'ils atteignent.

Enfin, l'on peut admettre qu'arrivée au terme de sa course, la balle qui conserve encore son mouvement de rotation, puisse au lieu de tourner simplement sur son axe, subir autour de sa pointe une rotation plus ou moins analogue à celle d'une *toupie*.

2° Force vive. — La force transmise au projectile par la déflagration de la poudre peut manifester son existence autrement que par les mouvements qu'elle lui imprime : sous des influences diverses, ou bien elle modifie l'état de la balle elle-même, ou bien elle l'abandonne en partie et modifie l'état des corps auxquels elle est transmise. Avant d'étudier ces manifestations de la force qui anime les projectiles et d'en mesurer les effets, il convient d'étudier cette force en elle-même, de mesurer sa puissance ; autrement dit,

il nous faut calculer la force vive que recèle le projectile en mouvement et qu'il peut abandonner en la transmettant à un autre corps, ou au contraire garder pour lui, soit qu'elle l'échauffe, soit qu'elle le déforme, soit qu'elle continue à l'animer.

La force vive d'un projectile dépend :

1° De sa masse caractérisée par son poids ;

2° De son mouvement, ce dernier jouant le principal rôle ainsi que l'indique la formule

$$F = \frac{1}{2} mv^2$$

laquelle s'énonce : F ou la force vive est égale au demi-produit de la masse (c'est-à-dire du poids) du projectile par le carré de sa vitesse.

De cette formule découle cette indication que l'augmentation de la vitesse de propulsion des balles modernes contrebalance presque leurs conditions d'infériorité relative de calibre et de poids, — conditions qui cependant étaient particulièrement favorables au point de vue chirurgical, n'était cette augmentation de vitesse.

Si, tenant compte des modifications de la masse et de la vitesse, nous écrivons pour les projectiles actuels

$$F = \frac{1}{2} mV^2$$

et pour les anciennes balles

$$F' = \frac{1}{2} Mv^2$$

il est facile de comprendre que F et F′ peuvent être égales, c'est-à-dire que l'on a

$$F = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} Mv^2$$

Deux balles de calibre différent peuvent, grâce à leur différence de vitesse, posséder la même force vive. Nous verrons plus tard quelle est, dans l'utilisation de la force vive, l'importance de *m* et de M.

Le tableau suivant exprime en kilogrammètres la force vive de quelques balles anciennes et modernes au début de leur course.

PUISSANCES	ANCIENNE BALLE	NOUVELLE BALLE
Allemagne. . . .	251.491	288.004
Autriche.	232.829	309.557
France.	257.175	344.192
États-Unis. . . .	252.755	263.496
Italie.	244.902	262.128

De ce tableau ressort la supériorité balistique, en tant que force vive initiale, des nouvelles balles sur les anciennes. De plus, il indique que, sous le rapport de leur puissance destructive, au début de leur course, les balles modernes présentent des différences dont ne rend pas compte la comparaison de leurs vitesses initiales de propulsion.

On voit, par exemple, que la balle italienne de $6^{mm},5$, malgré une vitesse initiale notablement supérieure à celle des autres projectiles (700 mètres), leur est inférieure en tant que force vive = 262 kilogrammètres au lieu de 344, chiffre de la balle Lebel. Tout au contraire, cette dernière, dont la vitesse initiale ne dépasse pas celle de certaines autres balles, l'emporte sur elles cependant par sa force vive plus élevée, cela parce que sa masse est un peu plus considérable.

Il ne suffit pas, il est vrai, de comparer au point de vue de la force vive les projectiles au début de leur course ; il est même beaucoup plus intéressant pour le chirurgien de les mettre en parallèle aux divers points de leur trajet. A cet effet, le tableau ci-contre présente les indications propres

aux balles allemande, autrichienne, française, italienne et suisse.

CHEMIN PARCOURU	ALLEMAGNE	AUTRICHE	FRANCE	ITALIE	SUISSE	ÉTATS-UNIS
	kilogrammètres					
0 mètres	314	310	344	263	264	263
100 —	239	223	230	»	200	»
200 —	186	167	183	157	150	»
300 —	145	139	147	»	115	»
400 —	113	119	121	»	91	79
500 —	90	104	101	»	75	»
600 —	76	92	86	61	64	»
700 —	68	81	73	»	55	»
800 —	63	73	64	»	48	»
900 —	58	67	56	»	43	42
1.000 —	53	61	50	37	40	»
1.100 —	49	56	45	»	36	»
1.200 —	45	52	43	»	33	»
1.300 —	42	48	35	»	30	»
1.400 —	38	45	32	»	28	»
1.500 —	35	42	30	»	26	26
1.600 —	32	39	27	»	24	»
1.700 —	30	37	24	»	22	»
1.800 —	27	35	22	»	20	16
1.900 —	25	33	20	»	18	»
2.000 —	23	31	19	17	16	»

Point n'est besoin d'insister sur la rapidité avec laquelle décroît, en même temps que la vitesse, la force vive des balles modernes. Mais nous devons signaler la différence de puissance

d'action de ces divers projectiles, en particulier aux distances éloignées. C'est ainsi qu'à 2,000 mètres, la balle française, qui n'a plus que 19 kilogrammètres de force vive, est inférieure aux balles allemande et autrichienne qui possèdent encore 23 et 31 kilogrammètres. Elle est supérieure aux balles italienne et suisse réduites à une force vive de 17 et 16 kilogrammètres.

3° Coefficient de pression. — Que les projectiles actuels possèdent une force vive supérieure à celle des balles anciennes, que cette force vive varie notablement de l'un à l'autre, on vient de le voir. Mais ces notions demandent encore à être complétées par l'étude du mode d'utilisation de cette puissance destructive dans la production des lésions. Il convient, en effet, de rapprocher l'un de l'autre la force vive et le diamètre du projectile, autrement dit de préciser quel est pour chaque balle, par millimètre carré de la section perpendiculaire à l'axe, le coefficient de la pression (pression qui mesure la force de pénétration du projectile) susceptible d'être transmise à un obstacle. Deux projectiles de calibre différent, possédant

la même force vive, ne la transmettent pas à un obstacle suivant une surface de frappe identique ; l'énergie de l'effort total sera la même, mais, vu la différence de la surface d'application de la force transmise, l'effet produit dans les deux cas sera différent. A ce propos nous rappelons la formule déjà citée :

$$F = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} m V^2$$

et appelons l'attention sur le rôle des deux grandeurs m et M.

PUISSANCES	BALLE ANCIENNE	BALLE ACTUELLE
	kilogrammètres	kilogrammètres
Allemagne. . . .	2.552	5.875
Angleterre. . . .	2.454	6.038
Autriche.	2.363	6 158
Belgique.	2.323	6.149
France.	2.610	6.847
Italie.	2.749	7.926
Portugal.	»	4.219
Russie.	2.672	5.978
Turquie.	»	3.821

Le tableau ci-dessus donne en kilogrammètres pour les divers projectiles, à la sortie de

l'arme, le coefficient de pression par millimètre carré de la surface de section perpendiculaire à l'axe, c'est-à-dire du cercle ayant pour rayon le calibre de la balle.

Ces chiffres montrent bien les progrès accomplis au point de vue balistique, le coefficient de pression initiale ayant été plus que doublé dans certains projectiles modernes.

En outre, le tableau précédent paraît mettre en lumière la supériorité du projectile de $6^{mm},5$, et cela, bien que dans le tableau de la page 34 celui-ci occupe le dernier rang au point de vue de la force vive.

Enfin, on pourrait admettre, toujours d'après ces mêmes données, la prépondérance de la balle Lebel sur les projectiles adoptés à l'étranger. Il convient toutefois, pour rectifier ce jugement, de comparer sur le tableau ci-contre les coefficients de pression des différentes balles aux diverses distances, particulièrement aux distances éloignées où elles sont appelées à produire des blessures.

On voit alors, comme sur le tableau page 36, que cette supériorité de notre projectile n'est pas de longue durée. Elle est perdue après les

600 premiers mètres. La prépondérance revient alors aux balles allemande et autrichienne. Des quatre balles que nous avons comparées, notre balle ne peut rivaliser qu'avec la seule balle suisse.

DISTANCES	ALLEMAGNE	AUTRICHE	FRANCE	SUISSE	ÉTATS-UNIS	ITALIE
	kilogrammètres					
0 mèt.	5.875	6.158	6.847	5.978	5.96	7.926
100 —	4.261	5.840	4.584	4.540	»	»
200 —	3.276	3.331	3.636	3.339	»	»
300 —	2.657	2.772	2.931	2.618	»	»
400 —	2.242	2.374	2.409	2.071	1.78	»
500 —	1.948	2.076	2.015	1.710	»	»
600 —	1.733	1.830	1.717	1.451	»	»
700 —	1.535	1.630	1.471	1.247	»	1.537
800 —	1.384	1.470	1.279	1.101	»	»
900 —	1.253	1.338	1.117	0.995	0.96	»
1.000 —	1.155	1.223	0.989	0.895	»	»
1.100 —	1.065	1.133	0.863	0.814	»	»
1.200 —	0.986	1.041	0.861	0.751	»	0.742
1.300 —	0.917	0.969	0.709	0.690	0.88	»
1.400 —	0.858	0.899	0.645	0.638	»	»
1.500 —	0.808	0.839	0.590	0.588	»	»
1.600 —	0.766	0.789	0.537	0.540	»	»
1.700 —	0.733	0.740	0.492	0.500	»	»
1.800 —	0.706	0.699	0.455	0.456	0.38	0.601
1.900 —	0.680	0.653	0.414	0.414	»	»
2.000 —	0.654	0.621	0.379	0.374	»	»

4° Réaction du projectile au choc. — Du

fait de l'action réciproque du projectile et du but qu'il frappe, il résulte que la force vive de la balle se décompose en trois parties :

1° Une première partie déforme, échauffe, mobilise le but;

2° Une deuxième partie déforme, échauffe, mobilise le projectile lui-même;

3° Une troisième persiste dans le projectile sous forme de mouvement.

Pour se faire une idée nette des désordres produits par les balles dans nos tissus, il ne suffit pas de connaître leurs qualités physiques normales ; il convient de tenir compte des modifications que ces dernières subissent, modifications de forme plus encore que modifications de température.

Échauffement. — Cette question de l'échauffement des projectiles a attiré l'attention des chirurgiens militaires, en particulier de ceux qui ont adopté la *théorie de la fusion* des projectiles pour expliquer leur propre déformation et certains de leurs effets sur les tissus.

Les projectiles s'échauffent tout d'abord au moment de la déflagration de la poudre, par suite du simple contact de la charge gazeuse :

puis, dans le parcours du canon, par le fait du frottement du manteau sur lequel s'impriment les rayures; enfin, après la sortie de l'arme, le frottement de l'air contribue encore à modifier la température de la balle. A défaut des données de l'expérience, le calcul ne peut préciser quel degré atteint cet échauffement. Si la pression et la température des gaz dus à la déflagration de la poudre peuvent approximativement être indiquées, on ne connaît pas quel est l'effort utilisé pour vaincre le frottement dans le canon. On ignore, de plus, quelle est la pression exacte de l'air comprimé par la balle en mouvement et, par suite, le frottement des deux corps en présence.

Faute de ces données, on ne peut calculer la chaleur acquise par la balle pendant son trajet.

En raison même de la rapidité de la course des projectiles, il y a lieu de tenir compte du temps nécessaire à la chaleur pour se propager dans leur masse par conductibilité. Ce temps, bien que très court, suffit cependant pour que l'enveloppe du projectile se trouve à une température supérieure à celle du noyau, au mo-

ment de la pénétration dans les tissus, condition qui offre quelque intérêt au point de vue chirurgical, comme nous le verrons plus tard à propos de l'influence de l'échauffement des projectiles sur leur stérilisation.

Aux causes d'échauffement précédemment indiquées (contact de la charge gazeuse, frottement dans le canon de l'arme et dans l'air), il convient d'en ajouter une autre qui souvent peut être tenue pour la plus importante, savoir : la transformation en chaleur d'une partie de la force vive du projectile rencontrant un obstacle. Il est vrai qu'ici encore le calcul ne saurait fournir plus qu'une donnée purement théorique, car on est obligé de raisonner sur le cas le plus simple : l'arrêt brusque du projectile et la transformation en chaleur de toute la force vive qu'il possède. En pratique, cela ne saurait avoir lieu, car lorsque le projectile s'arrête contre un obstacle, sa force vive se décompose : une partie s'épuise en déformant la balle et l'obstacle, une partie en échauffant les deux corps. De plus, lorsqu'il s'agit des projectiles cuirassés, il est impossible de tenir compte de leur complexité de structure. Aussi,

dans le tableau suivant, l'échauffement a-t-il été calculé comme s'il s'agissait de projectiles en plomb, ce qui contribue à diminuer la valeur des données qu'il renferme et les réduit à de simples termes d'une comparaison bien artificielle des projectiles allemand, autrichien, français et suisse.

DISTANCES	TEMPÉRATURES EN DEGRÉS CENTIGRADES DES BALLES			
	ALLEMANDE	AUTRICHIENNE	FRANÇAISE	SUISSE
0m	773° fondu	670° fondu	969° fondu	75[illegible]° fondu
100	418 —	405 —	525 —	412 —
200 à 600	326 mi-fondu	326 mi-fondu	326 mi-fondu	326 mi-foudu
900	315 solide	320 solide	291 solide	211 solide
1.500	202 —	200 —	148 —	142 —
2.000	164 —	149 —	95 —	90 —

D'après Reger, le projectile de plomb mou, même doué de la force vive la plus élevée, frappant un obstacle invincible, *ne fond pas*. Une balle d'acier ou à manteau d'acier frappant sur une plaque de fer, avec une vitesse de 500 mètres, s'échaufferait seulement de 230 à 240°.

Reger place devant et derrière les cibles et

les corps humains sur lesquels il tire, des couvertures de laine blanche verticalement tendues et assez nombreuses pour que toute trace de brûlure, même d'échauffement, puisse être aisément constatée. Jamais sur les poils il n'a observé rien de pareil, que la balle ait traversé des tissus mous ou qu'elle ait fracassé des os résistants. Dans d'autres recherches, il recueille les balles dans des amas de drèches ou dans du beurre, de la graisse, et ici encore, aucun indice d'échauffement n'est relevé.

Il y a peu de temps, Von Coler et Schjerning, tirant avec le fusil allemand modèle 1888, ont reconnu que la température d'une balle, après traversée du corps humain, atteignait exceptionnellement plus de 95°.

D'après les expériences de Beck, l'échauffement d'une balle de plomb ne s'élèverait jamais au delà de 67°, celui d'un projectile à chemise d'acier au delà de 78°, celui d'un projectile à chemise de cuivre au delà de 110°.

Les recherches plus récentes de Demosthen sont d'accord avec les précédentes. Des balles tirées sur une boîte de tilleul renfermant une couche de 10 millimètres d'épaisseur de poudre

Schwab ou de poudre Güttler, la traversent sans provoquer ni inflammation, ni détonation.

Ces dernières expériences fournissent la confirmation des résultats obtenus, il y a quelque vingt ans, par le médecin-inspecteur Mathieu, lequel constata la non-inflammation du fulmi-coton renfermé dans des boîtes de sapin, dont la paroi offrait aux balles Gras qui les traversaient, une résistance tenue pour égale à celle que leur eût présenté toute l'épaisseur du tronc humain. Du reste, Ambroise Paré, Maggi, Th. Gale n'ont-ils pas démontré que les balles des fusils en usage à leur époque passaient à travers un sac de poudre sans l'enflammer ?

Si la résistance éprouvée par le projectile dans le but est considérable, l'échauffement devient très manifeste. Dans une expérience de tir sur 5 tôles de fer laminé de 2 millimètres d'épaisseur disposées parallèlement à 50 millimètres d'intervalle, Demosthen interpose de la fleur de soufre entre les 3e et 4e, 4e et 5e tôles, et il tire à 5 mètres sur le système. Au moment où le projectile traverse les tôles, la poudre de soufre projette des flammes et on trouve les

fragments de la balle fondus et enveloppés d'une couche de soufre épaisse très adhérente et en partie brûlée.

Il résulte de toutes ces données quelque peu divergentes que si l'échauffement des projectiles est indéniable, particulièrement lors de la rencontre de surfaces résistantes, dans la pratique, il n'y a lieu d'attacher qu'une minime importance à cet échauffement.

Déformation. — Il n'en est pas de même de cet autre mode de réaction au choc des balles : la déformation. La question des déformations est parmi les plus importantes au point de vue de la chirurgie des guerres.

Les déformations peuvent se produire en dehors du corps humain : la balle a rencontré une pierre sur laquelle elle se déforme et ricoche, c'est-à-dire qu'après déformation plus ou moins accentuée, elle continue sa course dans une direction différente de sa trajectoire normale. Ce sont là les projectiles de *ricochet,* dont l'action sur le corps humain mérite d'être étudiée, précisément en raison de la conformation spéciale de leur surface et du mouvement de rotation anormale dont ils sont animés.

Autrement, c'est *au contact des tissus résistants,* comme les os, que la balle se déforme, et ceci encore est important, au point de vue de la transmission au tissu frappé de la force vive du projectile. — La déformation a le double effet d'élargir la surface de frappe et, en ralentissant la course de la balle, de prolonger la durée de son action.

Le mécanisme de production des déformations des balles se résume en un écrasement, ou une inflexion et une torsion, ou une fragmentation.

L'*écrasement* du projectile survient lorsque, dans un choc normal à l'obstacle, sa pointe se trouve arrêtée; le corps de la balle continuant sa course fait alors pour ainsi dire marteau sur la pointe et l'aplatit contre le but. Si la force vive du projectile est modérée, l'aplatissement se limite à la pointe ; si elle est très grande, le corps lui aussi s'écrase ou la balle entière se *fragmente*.

Si la balle a frappé obliquement l'obstacle, sa pointe s'écrase latéralement, mais de plus, surtout si elle est très allongée, elle *s'infléchit,* le corps formant un angle avec la pointe plus ou moins aplatie.

Non seulement il convient de tenir compte, dans la production des déformations, du mouvement de propulsion de la balle, mais son mouvement de rotation lui aussi intervient dans une certaine mesure. Si, par la pensée, on suppose une balle subitement fixée par son sommet, l'on comprend que son mouvement de rotation ne sera pas supprimé instantanément ; il s'arrêtera progressivement de la pointe vers le culot, il déterminera donc une torsion du projectile sur son axe. Bien que l'arrêt ne puisse se produire dans la condition précédente, cependant en tenant compte de la rapidité même de la rotation, l'on comprend qu'un certain degré de torsion puisse venir en aide à l'écrasement, à l'inflexion, ou à la fragmentation de la balle, et contribuer ainsi soit à sa déformation, soit à son morcellement.

Dans les balles cuirassées, le manteau modère les déformations du noyau moins résistant que lui ; mais, s'il se déchire, et généralement il s'agit d'une ou de plusieurs fentes verticales, il s'ouvre plus ou moins et le plomb du noyau tend à s'échapper.

MAR 24 192

Déformations des balles de 8 millimètres à manteau de maillechort. — D'expériences entreprises sur le cadavre, particulièrement par Delorme et Chavasse, il résulte que les balles Lebel subissent des déformations, des fragmentations, (fig. 2, 3, 4, 5) que l'on peut résumer ainsi :

1° Déformations de pointe, consistant dans la dépression en cupule du méplat de l'ogive terminale et dans le déjettement latéral de l'extrémité de cette partie conique, avec concavité correspondant à la surface convexe de l'os frappé ;

2° Déformations latérales, caractérisées par une dépression latérale, une encoche de la base ou de la portion cylindrique ou conique, sans séparation de l'enveloppe :

3° Déformations partielles de l'enveloppe et du noyau, avec ablation de parcelles, de lambeaux réguliers ou irréguliers de la première et intégrité ou aplatissement du second :

4° Enfin, déformations totales de l'enveloppe et du noyau. Dans ces cas, il peut ne rester qu'un débris informe de noyau et de chemise, ou même d'une seule de ces parties.

Laval, recueillant des projectiles tirés sur une butte, a décrit les déformations caractéris-

tiques des projectiles de ricochet à un autre point de vue.

1° Projectiles pourvus de tout ou partie de leurs deux corps constituants, enveloppe et noyau ;

2° Projectiles dont il ne reste plus que tout ou partie de la chemise de maillechort :

3° Projectiles dont il ne reste plus que tout ou partie du noyau de plomb.

Cette classification l'a amené à décrire un type assez particulier de séparation du noyau d'avec son enveloppe. Il a rencontré un certain nombre d'étuis entiers ou de portions d'étuis (fig. 4), ayant conservé leur forme, sans trace du lingot de plomb qui y était inclus primitivement. Ces étuis de maillechort sont absolument intacts, ne présentent aucune détérioration sur leur pourtour, leur méplat antérieur porte gravée la lettre initiale du nom du fournisseur de maillechort (S dans le cas particulier), lettre nullement altérée. Seule la base est un peu déchirée, ce qui est dû à l'écartement du repli de l'enveloppe, qui s'est redressé pour donner libre carrière au plomb. L'étude de ces longs étuis solitaires semble prouver la

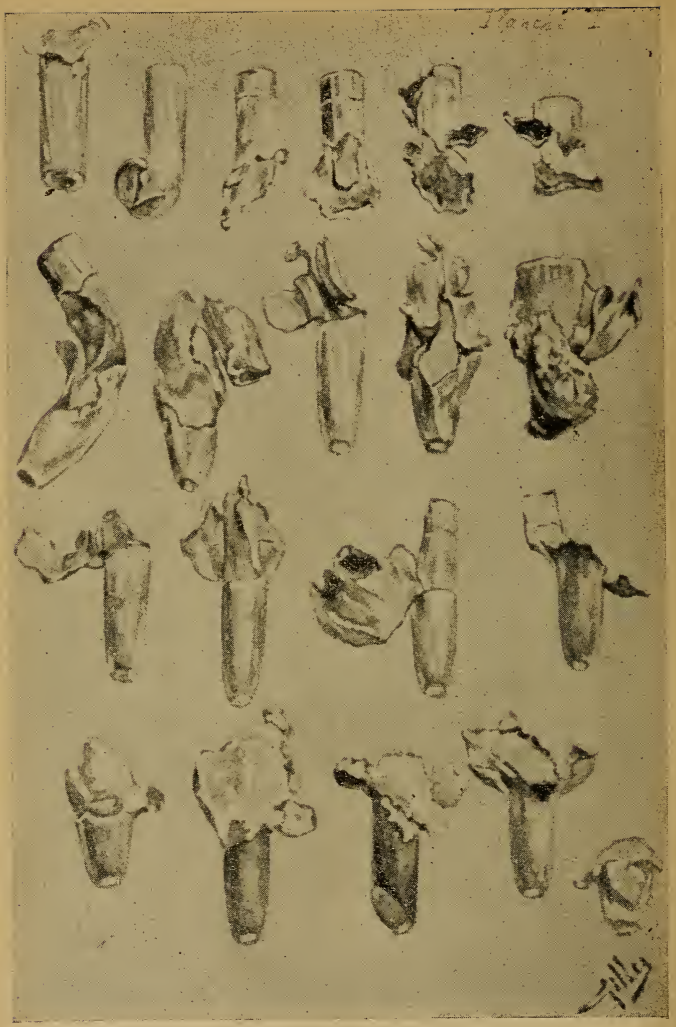


Fig. 2. — Déformations des balles françaises.
Balles déformées avec enveloppe et noyau.

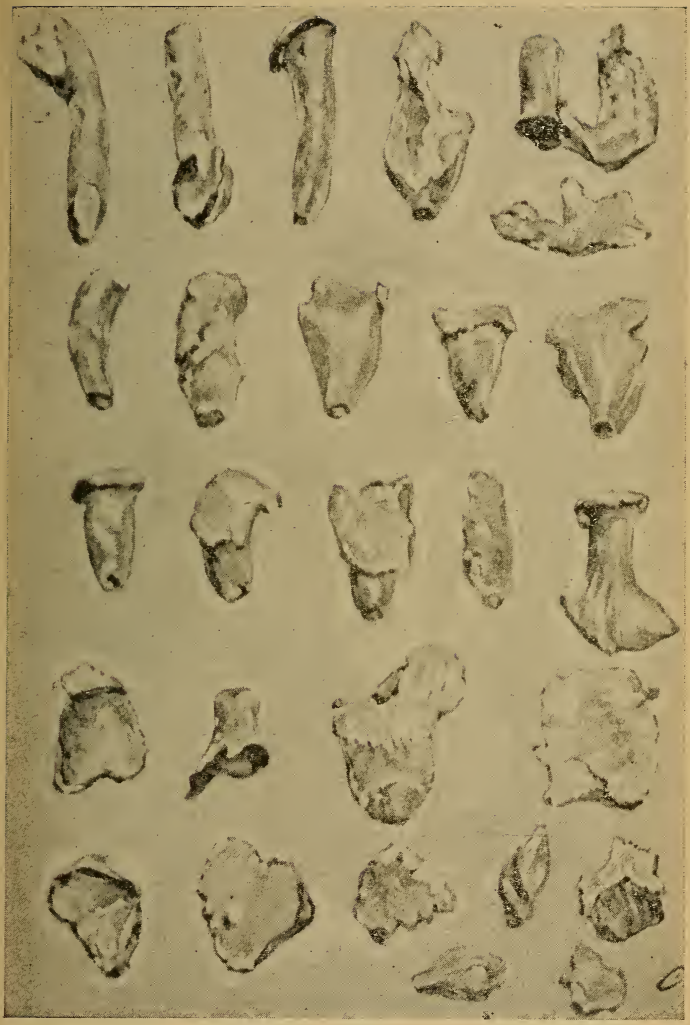


Fig. 3. — Débris du noyau de plomb.

facilité avec laquelle le plomb peut se dévêtir de son manteau et, intact ou fragmenté, agir

Fig. 4. — Manteau de maillechort.

pour son propre compte, tandis que le manteau agirait en un autre point.

Déformations des projectiles de 7^{mm},9 à manteau

d'acier. — Von Coler et Schjerning résument ainsi les déformations du projectile *allemand*.

Fig. 5. — Débris du manteau de maillechort.

1° Faible aplatissement de la pointe avec manteau intact ou fissuré ;

2° Faible aplatissement latéral avec ou sans manteau fissuré:

3° Faible aplatissement du culot avec ou sans manteau fissuré;

4° Faibles aplatissements simultanés en divers points : pointe et côtés, pointe et culot;

5° Déformation en champignon ou altérations plus accentuées du noyau avec fissures du manteau;

6° Déformation en champignon ou altérations plus accentuées, avec retroussement du manteau;

7° Complète destruction du noyau et éclatement du manteau.

On observe ces déformations à toutes les distances, mais particulièrement aux courtes distances, dans le tir contre les diaphyses.

A 100 mètres	60 0/0	des projectiles tirés dans des expériences sont déformés.
200	82	—
600	100	—
700	86	—
1000	30	—
1200	25	—

Même à 2,000 mètres, on a pu trouver un projectile déformé arrêté dans le sujet.

Les déformations du projectile *autrichien* analogue au projectile allemand, dont il diffère seulement par l'absence de couche de maillechort sur la chemise d'acier, se sont manifestées d'une façon éclatante dans les observations de Bogdanick. Les balles tirées à assez courte distance, dans des troubles civils, s'étaient considérablement déformées, souvent même fragmentées.

Déformations des balles de 6^{mm},5, à manteau d'acier. — Les balles de calibre inférieur aux précédentes n'échappent pas à la déformation et au morcellement. Demosthen, au cours de ses expériences avec la balle roumaine de 6^{mm},5, à manteau d'acier nickelé, en a relaté un certain nombre de cas, à différentes distances. Nous en citerons quelques-uns :

A 600 mètres, fracture du tibia. La pointe aplatie et tordue du manteau est trouvée sous la peau, près de la plaie.

A la même distance, un projectile ayant traversé la tubérosité interne du tibia est trouvé par terre, recourbé et ayant quitté sa chemise.

A 1,400 mètres, fracture de l'humérus. La pointe du projectile est aplatie et tellement tordue qu'elle en touche le corps. Le manteau

de la balle, intact vers la base, est déchiré au niveau de l'incurvation. En outre, la base du noyau n'est plus au niveau de celle de l'enveloppe, parce que le noyau a glissé dans son manteau, vers la pointe, de 2 millimètres environ.

Enfin, à 15 mètres, une balle ayant traversé 4 os, chez le cheval, s'est fragmentée en 19 morceaux de plomb et de manteau, dans le dernier foyer de fracture.

Déformations des balles à calotte d'acier. — La balle suisse, on se le rappelle, se compose

Fig. 6. — Déformations de la balle suisse.

d'un noyau de plomb dont l'extrémité est recouverte par une calotte d'acier, condition éminemment favorable pour produire la déformation ou la fragmentation. Bircher aurait constaté cette altération dans 50 pour 100 des coups de feu avec lésion osseuse.

De son côté, Brünner, étudiant une série de balles recueillies sur les buttes d'un champ de tir, reconnaît que sous l'influence du choc contre la terre, le projectile s'incurve plus ou moins ou se brise au niveau de la base du chapeau, lequel peut abandonner le noyau déformé ou fragmenté, ainsi que le montrent les figures ci-contre.

Déformations des balles à calotte ouverte. — Après avoir fait ressortir, dès le début de leur emploi, que le peu de déformation des balles cuirassées offrait, au point de vue balistique, l'avantage de faciliter la pénétration du projectile, on parle maintenant de revenir aux balles facilement déformables pour compenser la diminution d'efficacité des balles de calibre réduit. Normalement, en effet, la surface du choc de celles-ci est minime, mais par suite, aussi, pour peu qu'elles se déforment dans les tissus, les conditions changent, la balle devient de gros calibre ; sa surface de frappe est modifiée. Expérimentalement, Delorme a pu démontrer, par l'amplitude des oscillations produites, l'importance du choc imprimé par des projectiles de calibres différents (les balles de 11 et de 8 mil-

limètres) à des pièces anatomiques suspendues par des ficelles. La différence du choc subi était minime lorsque les parties molles seules avaient été intéressées. Par contre, elle était très prononcée lorsqu'il y avait eu contact osseux, les balles de petit calibre imprimant toujours des oscillations moins étendues que celles provoquées par le contact des grosses balles.

Ce sont, en particulier, les expéditions coloniales qui ont attiré l'attention sur *l'insuffisance d'action d'arrêt* des projectiles modernes. Les sauvages frappés par ces derniers continuaient à se battre, s'ils n'étaient pas immédiatement tués ou si une fracture complète ne les immobilisait pas. Au Dahomey, au Soudan, nous avons pu constater pareil fait ; les Italiens également, en Abyssinie. Pendant la guerre du Chitral, les Anglais avaient entendu leurs ennemis qualifier de « fusil d'enfant » le Lee Metford. Aussi, pour rendre confiance à leurs troupes, au cours de l'insurrection dernière dans les Indes, ont-ils adopté une balle dont l'enveloppe de cuivre-nickel, à l'inverse des chemises ordinaires, diminue d'épaisseur depuis le culot de la balle jusqu'à son sommet, où le

plomb est à nu. Grâce à cette disposition, elle se déformerait aisément, au point que Bruns la taxe de projectile explosif.

Si l'on veut se rendre compte de la valeur réelle de cette modification, après avoir enlevé toute la calotte de la cuirasse de notre balle, dans des tirs à charge réduite pour les diverses distances, l'on obtient (fig. 7) soit des déforma-

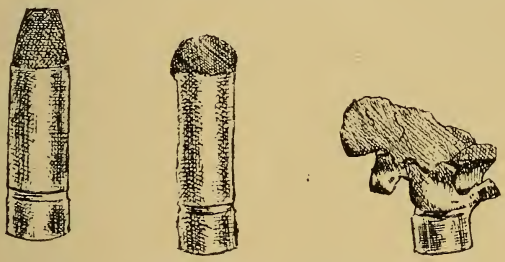


Fig. 7. — Déformations des balles Dum-Dum.

tions, soit des divisions du projectile, avec fragmentation du plomb et du manteau; d'où, évidemment, une augmentation des effets vulnérants. Mais, il ne semble pas que pareille modification remplisse exactement le but désiré, car traversant les parties molles, voire même les os spongieux, la balle Lebel ainsi décalottée ne se déforme pas et d'autre part, le choc sur un os dur, indépendamment de toute défor-

mation du projectile, suffit pour mettre un homme civilisé hors de combat.

Il ne semble pas, du reste, que la balle Dum-Dum ait satisfait les Anglais, car dans leur dernière campagne du Soudan, ils se seraient servis d'une balle du même calibre que celle du Lee Metford, dont le noyau avait été creusé au niveau de sa pointe d'une cavité de 2 millimètres de diamètre sur 9 de long. Cette cavité ouverte par suppression du méplat de la cuirasse favorise l'aplatissement de la balle dont elle rend moins solide la surface de frappe. L'on a même prétendu que l'air comprimé dans la cavité au moment du choc devait la faire éclater. Quoi qu'il en soit, d'après les recherches expérimentales de Bruns, il nous semble que les critiques adressées plus haut à la balle Dum-Dum seraient encore de mise ici, aussi nous n'insistons pas.

Il est intéressant de rapprocher de la *balle Dum-Dum* le projectile suisse qui en est en quelque sorte l'inverse. Ici, on le sait, l'ogive est cuirassée, tandis que le corps du projectile est à nu. Cette absence partielle de chemise a pour effet de favoriser l'expansion de la portion du noyau qui est à nu. Seulement, dans la

balle Dum-Dum, l'expansion se produit en avant, tandis que dans la balle suisse, elle ne peut se produire qu'en arrière.

La moindre résistance apportée à la progression de cette dernière en modifie l'équilibre, et si l'ogive très dure est arrêtée, le reste du projectile s'incurve, s'étale, s'écrase sur elle.

Dans la balle des Anglais, au contraire, c'est la partie antérieure du projectile qui éclate et s'écrase entre la résistance extérieure et la base cuirassée.

§ 3. — Mode d'action des petits projectiles sur le corps humain.

Le corps de l'homme se compose de tissus de densité, de structure, de composition différentes, qui doivent réagir d'une manière variable sous l'action des projectiles. Aussi doit-on étudier cette action dans les parties dures telles que les os, dans les tissus élastiques comme la peau, dans les organes mous comme le cerveau, dans les viscères qui, sous une paroi molle mais résistante (cœur, vessie, etc...), renferment un liquide (sang, urine, etc.). En raison

de cette complexité des tissus du corps humain, les expériences faites sur des corps métalliques (cibles de fer ou d'acier), sur des plaques de marbre, de verre, sur des blocs de terre glaise, sur des boîtes de fer-blanc remplies de liquide, n'offrent pas l'importance considérable que beaucoup leur attribuent. Aussi, ne retiendrons-nous de ces recherches que les résultats susceptibles de déductions pratiques.

A. — Mode de résistance des tissus. — 1° *Cohésion.* — Les tissus du corps humain réagissent sous l'action des projectiles grâce à la cohésion des éléments qui les constituent. Cette force qui unit entre elles les molécules matérielles, qui les tient comme enchaînées les unes aux autres, varie beaucoup d'un tissu à l'autre. Ceux-ci, toutefois, envisagés d'une manière générale, sont les uns *solides*, les autres *liquides,* c'est-à-dire que dans les premiers, les molécules constituantes sont assez unies par la force de cohésion pour opposer à toute tentative de séparation une résistance sensible, tandis que dans les liquides, les molécules jouissent d'une mobilité assez grande pour se mouvoir indépendamment les unes des autres et céder à

la plus légère pression. Il serait cependant exagéré de tenir pour négligeable la cohésion des liquides.

L'expérience, en effet, n'a-t-elle pas démontré qu'une balle du fusil allemand, par exemple, tirée dans l'eau à pleine charge, s'arrête après un trajet de $2^{m},50$ et que la balle roumaine de $6^{mm},5$ traverse seulement une couche d'eau de $1^{m},50$ d'épaisseur ?

Si, dans le corps humain, les liquides normaux sont assez comparables les uns aux autres quant à leur degré de liquidité, la solidité des tissus solides présente de nombreux degrés, témoins, aux deux extrêmes, le tissu osseux et le tissu de la rate, par exemple.

2° *Compressibilité.* — Les tissus sont les uns *compressibles*, les autres *incompressibles*. Par compressibilité, il faut entendre la propriété que possèdent les corps de se réduire à un moindre volume apparent, quand on les presse de toutes parts. Elle est une conséquence de la porosité, les corps diminuant de volume, parce que leurs particules peuvent se rapprocher les unes des autres.

Les liquides sont considérés comme incom-

pressibles, et bien que cette proposition ne soit pas absolument exacte, elle peut être acceptée par nous. D'autre part, tous les tissus solides de l'économie, à des degrés divers, sont compressibles; le tissu osseux lui-même se laisse comprimer. On ne saurait, en effet, méconnaître que le tissu osseux possède une certaine *flexibilité,* c'est-à-dire qu'un os peut s'incurver (os long) ou se déprimer (os plat) dans une certaine mesure, sans se briser.

3° *Extensibilité,* c'est-à-dire propriété que possèdent les corps de se laisser étendre ou allonger sous l'influence d'une pression ou d'une traction. Elle varie très notablement suivant les tissus et, d'une façon générale, est en rapport avec leur degré de compressibilité.

4° *L'élasticité,* ou possibilité du retour spontané au volume primitif d'un corps qui a été comprimé ou étiré, suppose par le fait la compressibilité et l'extensibilité. Elle fait défaut aux liquides. Par contre, on l'observe plus ou moins développée dans tous les tissus solides de l'économie. Ces derniers, en effet, tendent plus ou moins à reprendre leur volume, leur forme primitive; après allongement ou compression,

leurs molécules déplacées reviennent à leur position première. Si, par une mise en jeu trop fréquente ou exagérée de cette propriété, un tissu peut perdre d'une façon plus ou moins complète son élasticité, cette particularité ne saurait nous toucher, quand il s'agit de blessures par balles. Il importe plutôt de signaler combien est variable l'élasticité des tissus humains, très prononcée dans la peau, les tissus pulmonaire et musculaire, très faible dans les tissus du rein, du foie, des os.

En résumé, les tissus liquides de l'économie sont incompressibles, les tissus solides sont plus ou moins compressibles, extensibles et élastiques. Ces données sont à retenir pour expliquer les résultats du conflit entre la puissance du projectile et la résistance des tissus. En outre, l'on doit tenir compte de ce principe de mécanique : « *l'action est toujours égale à la réaction,* » ce qui, dans notre cas, veut dire que l'effort dépensé par le projectile dans les tissus est égal à la force de cohésion des molécules déplacées et à la force vive qui leur a été communiquée. Cette dernière, abandonnée dans les tissus avec son caractère de force dis-

ponible, de force transmissible, 1° détruit la cohésion des éléments des tissus; 2° en anime les parcelles dont la cohésion a été détruite, les transforme en *projectiles secondaires, en projectiles annexes* de la balle elle-même, à qui ils sont comparables comme corps vulnérant.

Au total, la blessure résulte dans une proportion variable, suivant les cas, de l'action directe du projectile sur les tissus et de son action indirecte, par l'intermédiaire des parcelles des tissus eux-mêmes.

B. Mode de réaction des tissus a l'action des projectiles. — L'action d'un projectile sur les tissus résulte de la transmission du premier aux seconds d'une certaine quantité de la force vive qu'il possède. Cette force transmise a pour effet : 1° de vaincre la cohésion des éléments; 2° de mobiliser certaines parcelles de ces derniers.

Nous établirons d'abord le premier point.

1° *Altération de structure des tissus.* — La balle est animée d'un *mouvement de propulsion* en avant et d'un *mouvement de rotation autour de son grand axe;* par suite, quand elle rencontre un plan résistant, elle lui porte tout

d'abord un coup comme le ferait un *marteau*, puis elle le pénètre à la manière d'un *perforateur*, puisqu'elle tourne sur elle-même, et d'un *coin*, en raison de la forme ogivale de sa pointe.

Nous devons donc étudier la réaction des tissus :

a) Au choc de la balle, au *coup de marteau*.

b) A la perforation, action combinée de *marteau*, de *coin* et de *perforateur*.

a) *Réaction au choc*, ou à l'*action de marteau*. — Supposons qu'une balle vient simplement heurter, à la manière d'un *marteau*, la surface extérieure d'un but homogène, soit un os plat et épais. Par la pensée, décomposons celui-ci en ses molécules élémentaires que nous tiendrons pour juxtaposées en séries, comme les billes de la machine à percussion de Mariotte, et voyons comment le choc se propage dans l'une des séries, qui court du point frappé sur une face de l'os jusqu'à la face opposée.

La molécule osseuse superficielle heurtée par le projectile transmet le choc à la molécule qui lui est sous-jacente, celle-ci agit de même à l'égard de la suivante et, de proche en proche, le mouvement se transmet jusqu'à la molécule ex-

trême. Mais celle-ci — et la machine de Mariotte en fournit bien la preuve — déplacée de sa position d'équilibre, retombe sur l'avant-dernière, qui a déjà frappé par choc en retour celle qui l'avait mobilisée ; autrement dit, chacune des molécules de la série oscille à la manière d'un pendule, si bien que le choc de la balle a pour effet de produire non pas une seule onde de mouvement, mais bien une série de chocs moléculaires, de vibrations suivant la direction du coup. Ce déplacement moléculaire rend bien compte du mécanisme de production de certaines fractures de la table interne du crâne, alors que la table externe est restée intacte au point frappé ; il explique ainsi la formation de certaines fissures osseuses à distance du point de contact de la balle sur l'os. Les vibrations propagées ont eu raison de la puissance de cohésion du tissu osseux.

Si nous poursuivons l'analyse de cette transmission au but du mouvement de propulsion du projectile, nous devons, outre la série moléculaire tout à l'heure envisagée, considérer les séries voisines parallèles. Du fait même de cette cohésion, toutes les molécules sont soli-

daires dans les séries voisines. Supposons, en effet, que le but offre une grande résistance à la pénétration, ce qui se traduit tout d'abord par une difficulté très grande au refoulement, dans le sens d'action du projectile, des molécules les premières frappées, maintenues qu'elles sont par celles situées plus profondément. Ne pouvant fuir assez vite devant le choc, elles se déplacent de côté. Ainsi font, quand on lance une pierre dans l'eau, les molécules de la surface liquide. Elles se soulèvent en dessinant une circonférence concentrique au point de chute, et cette onde qui s'éloigne en s'affaiblissant, nous représente *l'onde latérale* que le choc du projectile crée dans le but atteint, onde latérale qui, elle aussi, est suivie par réaction d'ondes secondaires de même sens. Or, si nous examinons certaines fractures du crâne en particulier, nous sommes frappés de l'existence de fissures circulaires concentriques au trou d'entrée, fissures qui sans doute ont, pour une part au moins, été déterminées par ces ondes circulaires.

b) *Réaction à la perforation.* — Action combinée de marteau, de coin, de perforateur.

Si le projectile pénètre dans l'épaisseur du but, il agit non plus seulement par sa puissance de choc, mais 1° comme un coin, c'est-à-dire en faisant effort pour écarter latéralement les molécules qui l'enserrent ; 2° comme un perforateur, c'est-à-dire en communiquant une partie de son mouvement de rotation aux molécules qui frottent sa surface externe.

A mesure qu'elle progresse dans le milieu où elle a pénétré, la balle continue à agir comme un marteau sur chacun des plans qu'elle traverse et, pour chacun de ceux-ci, il conviendrait de répéter ce que nous avons dit à propos de la surface du but, de signaler les ondes longitudinales et latérales qui successivement prennent naissance et se propagent au loin.

Pour expliquer maintenant *l'action de coin* du projectile, on peut, avec Köhler, étudier cette action sur le premier plan dans lequel il pénètre et pour ce faire, considérer ce plan comme constitué par une série de circonférences concentriques au point de pénétration. Dès que la pointe de l'ogive s'engage, elle refoule devant elle ou latéralement les molécules qui lui cèdent leur place. Cette pression latérale est

comparable à celle que produit sur un anneau l'introduction dans son intérieur d'une tige légèrement conique : celle-ci ne peut passer que si l'anneau se dilate, et pour cela, il doit être élastique, autrement il se brise. Les traits de fracture ainsi formés dans ce premier anneau se produiront par le même mécanisme dans les anneaux qui lui sont concentriques. Ils se prolongent les uns les autres, constituant des fissures radiées par rapport au point frappé. Il va de soi que le nombre et la situation réciproques de ces fissures radiées varient suivant les tissus. D'une régularité très grande au point de rappeler les rayons d'une roue de voiture, dans certaines fractures du crâne, ces fissures offrent une disposition plus irrégulière dans les perforations des tissus parenchymateux, comme le foie et le rein.

Quant à la propagation du mouvement de rotation, elle se fait par frottement de la surface du projectile contre les molécules tapissant le trajet qu'il se creuse. Il imprime à ces dernières un mouvement hélicoïdal qui met en jeu la résistance du tissu à la torsion.

Nous ne saurions descendre plus loin dans

l'analyse de la transmission de la force vive du projectile aux tissus frappés. Il y aurait lieu, cependant, de considérer l'influence de la réflexion et de la réfraction des ondes, leurs nœuds, leurs lignes et leurs surfaces nodales.

Les vibrations se communiquent d'un tissu à l'autre, d'un organe à l'autre, par contact ou par l'intermédiaire d'un milieu élastique. L'intensité du phénomène en un point donné dépend de l'amplitude des vibrations, de la densité du milieu, de la distance du centre des vibrations au point considéré, de la rapidité du mouvement vibratoire, c'est-à-dire encore qu'il faut tenir compte de la nature, de la forme, des dimensions, de l'élasticité du corps.

Dans le corps humain, qui renferme des gaz, des liquides, et des solides, de composition, d'élasticité et de densité variées, la vitesse de propagation et l'intensité des phénomènes en général dépendent de la constitution des tissus et organes, des conditions spéciales qu'ils présentent au moment du choc (muscle contracté ou non, vessie vide ou pleine), de leurs caractères propres à chaque individu.

2° *Mobilisation des parcelles des tissus.* — La

cohésion des éléments des tissus étant vaincue, abordons maintenant la seconde partie du problème, celle de la mobilisation de certaines parcelles de ces derniers. Jusqu'ici, en effet, nous avons admis que le projectile, en cédant une partie de sa force vive aux molécules du tissu qu'il a frappé, leur a imprimé de simples vibrations longitudinales, transversales et hélicoïdales, lesquelles ont eu pour effet de les dissocier. Or, l'expérience démontre qu'un projectile peut non seulement détériorer sur une plus ou moins grande étendue l'organe qu'il a traversé, mais encore que les débris en sont parfois projetés à grande distance, et ceux-ci peuvent être animés d'une telle force vive qu'eux aussi agissent à la manière de *projectiles secondaires*. Ce que nous avons dit précédemment permet de le comprendre. La force vive abandonnée par le projectile a été plus que suffisante pour imprimer aux molécules de l'organe touché des vibrations telles qu'elles ont surmonté leur puissance de cohésion. Elles sont devenues libres, grâce à la formation de multiples fissures concentriques et radiées autour du trajet suivi par le projectile et, de plus,

elles ont conservé une partie de l'impulsion reçue ; elles obéissent au double mouvement de propulsion en avant, de fuite devant le coup et de dispersion ; autrement dit, elles obéissent à l'action de marteau, de coin et de perforateur du projectile. Pour peu que la vitesse possédée par les débris des tissus soit un peu grande, l'on comprend que le produit de leur masse par le carré de leur vitesse soit élevé. Or, ce produit n'est autre que la mesure de la *force vive du projectile secondaire,* que constituent les débris des tissus, les esquilles par exemple.

Pour bien mettre en relief la part d'activité qui revient aux tissus dans la production des désordres, il convient de signaler combien sont différents les dégâts produits par une balle tirée à courte distance sur un récipient fermé, selon qu'il est vide ou qu'il est rempli d'eau. Tandis que, dans le premier cas, l'on constate deux orifices à peine suffisants pour le passage du projectile, dans le second, la simple présence du liquide suffit pour provoquer un éclatement du vase qui le renferme. Pour expliquer cette différence, certains auteurs ont émis la théorie de la *pression hydraulique.*

Ils comparent le projectile au piston de la pompe hydraulique. Pour eux, l'entrée de la balle dans un milieu incompressible a pour effet d'en refouler en tous sens les molécules, d'exagérer par suite en tous points la pression supportée par la surface interne du récipient, qui se laisse distendre ou éclate. L'eau reste inerte, le contenu ne prend pas une part active à la production des désordres du contenant.

Cette théorie n'est pas exacte, de nombreuses critiques pour la plupart bien étudiées par Von Coler et Schjerning peuvent, à juste titre, lui être adressées.

1° La pression hydraulique se fait sentir avec une égale intensité *dans toutes les directions,* ce qui n'a pas lieu pour l'action du projectile, laquelle est surtout prononcée *suivant la direction du trajet qu'il parcourt.* — Ce dernier fait est bien évident quand on compare, dans le récipient plein d'eau traversé par la balle, le petit orifice de la paroi d'entrée, le vaste hiatus de la paroi de sortie, les déchirures possibles des parois latérales.

2° Il ne peut se développer de pression hydraulique dans un *récipient largement ouvert.*

Or, l'expérimentation démontre que la présence du liquide dans un vase provoque, au moment de sa perforation par un projectile, des désordres sensiblement égaux, qu'il soit largement ouvert ou clos de toute part.

3° Tandis que le piston d'une pompe hydraulique provoque du côté du corps de pompe par refoulement de la paroi mobilisée, une *augmentation de capacité* précisément égale à la réduction de volume que provoque son déplacement, un projectile en traversant avec une vitesse de 620 mètres un récipient plein de liquide, le fait éclater et en refoule les parois au point qu'on peut, d'après Von Coler et Schjerning, attribuer au récipient ainsi déformé une augmentation de capacité supérieure à 300 fois le volume du projectile (en nombre rond 350).

4° La puissance de *projection du liquide* chassé par une balle du récipient fermé ou ouvert qu'elle traverse, ne saurait être attribuée au seul développement de la force hydraulique. Au-dessus de l'ouverture d'un vase en plomb (ouverture de $10^{cm},8$ de diamètre), à $0^{m},06$ de la surface de l'eau qui le remplit, on dispose

une planche de sapin longue de 1 mètre, large de $0^m,15$, épaisse de $0^m,03$ et cette planche est brisée par le choc de l'eau que projette en haut le passage, à travers le récipient, d'une balle tirée à 25 mètres de distance.

5° Enfin, disent Von Coler et Schjerning, le projectile qui perfore un récipient *troue la paroi à travers laquelle il sort,* avant que celle-ci ait subi l'action du contenu ; le contraire se produirait si la balle provoquait une simple action hydraulique. La paroi aurait éclaté avant d'être frappée à la sortie du projectile.

A une distance de 25 mètres, on tire avec le fusil de 8 millimètres sur un tube de plomb (diamètre = $0^m,065$, épaisseur de la paroi $0^m,002$) plein d'eau. La balle, en le traversant, y laisse un trou d'entrée de $0^m,012$ de diamètre et un vaste hiatus irrégulier, mesurant $0^m,12$ de haut et de large, limité par des lamelles de plomb fortement éversées ; celles-ci rabattues sur la paroi du tube ainsi reconstitué, on constate l'existence d'un véritable trou de sortie. Le projectile a donc frappé cette paroi encore intacte ; il y a creusé un petit orifice de sortie dont le pourtour a été largement déchiré et

refoulé par la gerbe d'eau, véritable projectile secondaire animé par la balle elle-même.

Que le projectile trouve non perforée la paroi du vase qu'il rencontre à sa sortie, le fait est bien établi. Toutefois, *on aurait tort de prétendre que cette paroi n'a pas, lorsqu'il s'agit d'un vase clos, déjà subi l'action du contenu liquide dans lequel a pénétré la balle. L'on doit réduire à de justes limites l'influence de la pression hydraulique, mais non la nier.*

Si, en effet, l'on considère le moment pendant lequel le projectile, ayant pénétré dans un récipient hermétiquement clos, s'oppose à l'écoulement du contenu liquide, parce qu'il bouche lui-même le trou qu'il a creusé, il est indiscutable que, vu l'incompressibilité du liquide, si la balle a pénétré, c'est que la paroi du contenant a cédé, grâce au développement de la pression hydraulique. Cette pression, toutefois, répartie également sur toute la surface interne du récipient, n'a pas suffi pour le faire éclater.

6° Il est encore une critique possible à l'adresse de la pression hydraulique. Pourquoi les *désordres que cette pression est censée pro-*

duire sont-ils moins prononcés à mesure qu'augmente la distance du tir, à mesure que la vitesse, la force vive du projectile diminuent ?

Le volume de la balle ne se modifiant pas aux divers moments de la course, sa pénétration dans un récipient plein de liquide se traduit dans le contenant par une augmentation de pression toujours égale. Cette dernière force ne variant pas avec la distance qui sépare le tireur du but frappé, l'on ne saurait par suite lui attribuer des dégâts d'importance variable, particularité qui, tout au contraire, trouve son explication naturelle dans la diminution de force vive communiquée aux molécules liquides par le projectile, dont la vitesse se ralentit progressivement avec le chemin parcouru.

7° L'expérimentation enfin a établi que les *vastes dilacérations, les effets dits explosifs, sont plus rares et moins prononcés dans les blessures par les nouveaux projectiles que dans celles produites par les anciennes balles.* Le plus petit volume des premiers suffit-il pour rendre compte de cette différence ? Sans doute, il est indiscutable que l'action hydraulique développée par l'entrée d'une balle allemande mo-

dèle 1888, dans un récipient plein d'eau est moindre que celle provoquée, par exemple, par une balle de notre ancien fusil Gras, cette dernière mesurant 2,19 centimètres cubes, au lieu de 1,40, comme la première. Mais, il a été établi précisément qu'il suffit d'un allongement insignifiant, pour ainsi dire (0,03^{mm}), du rayon d'une sphère creuse d'un litre de capacité, pour que la pression développée du fait de la pénétration dans son intérieur de la balle allemande se trouve annihilée ; or, ce n'est pas parce que la balle Gras a un volume à peine un tiers plus considérable qu'elle produira un effet sensiblement supérieur.

En réalité, la différence d'action des anciens et des nouveaux projectiles résulte de ce que les premiers, grâce à leur surface d'impact plus grande, du fait de leur calibre normal plus grand et de leurs déformations accidentelles plus fréquentes, offrent des conditions plus favorables pour la transmission de leur force vive aux tissus qu'ils traversent. Il est même à remarquer que la vitesse notablement supérieure, aux distances rapprochées, des nouveaux projectiles n'est pas suffisante pour compenser

les conditions d'infériorité, que leur créent leur moindre calibre et leur intégrité plus fréquente.

De tout ce qui précède, nous devons retenir qu'un liquide traversé par un projectile lui prend une partie de sa force vive et que celles de ses molécules ainsi animées acquièrent, de ce fait, une puissance vulnérante propre : c'est la *théorie de la pression hydrostatique*.

Cette théorie a été quelque peu complétée par un de nos confrères de l'armée des États-Unis, Ch. Woodruff. Reprenant la description de l'ébranlement apporté dans une masse liquide par le passage d'une balle, il appelle l'attention sur le *vide* qui se forme en arrière d'elle et des molécules liquides qu'elle déplace. Il compare ce vide à celui qui se produit derrière la main vivement déplacée dans l'eau, ou mieux encore derrière l'hélice d'un navire. D'après Woodruff, c'est la formation de cet espace qui permet l'expansion de toute la masse liquide, et par suite, l'effort latéral qu'elle produit sur son contenant. Mais, dès que les molécules déplacées ont épuisé leur énergie, après un moment d'équilibre, elles sont attirées en arrière puisqu'elles entourent un espace vide ;

elles reviennent vers le trajet du projectile, d'où une sorte de choc en retour, que peut suivre une nouvelle expansion latérale. De là, une

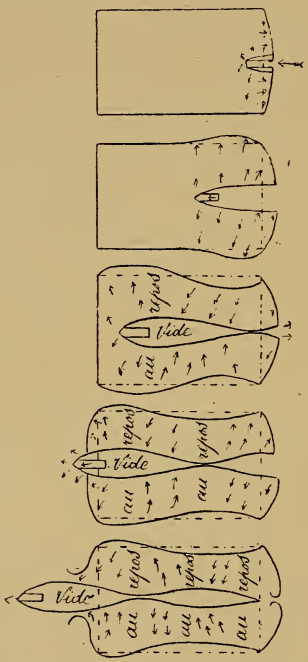


Fig. 8. — Modifications schematiques produites dans un corps liquide par une balle qui le traverse.

série de mouvements ondulatoires d'intensité décroissante, jusqu'au retour de la masse liquide à l'état de repos (fig. 8).

L'intensité des vibrations et la projection des molécules rendent bien compte des désordres que présentent les organes creux remplis de liquides (vessie, estomac, cœur), lorsqu'ils sont atteints par une balle tirée à courte distance. La gravité des lésions observées les fit tout d'abord attribuer à l'action de balles explosibles et, actuellement encore, on les dit *coups de feu explosifs*.

Des désordres analogues se voient dans les coups de feu tirés de près sur des viscères plus ou moins gorgés de liquides (cerveau, foie, rate), et ici encore, la théorie hydrostatique peut être acceptée sans discussion. Par contre, cette dernière est légitime, quand il s'agit d'organes constitués par des tissus solides, tels les os. Certains auteurs, attribuant à la moelle osseuse le rôle de contenu liquide, se déclarent éclairés par la théorie hydrostatique. Moins schématique, toutefois, est l'explication des désordres, si l'on considère que les vibrations transmises au milieu solide ont eu pour premier effet de vaincre la cohésion de ses molécules, de les désagréger, de les placer les unes par rapport aux autres dans la position d'indifférence des

molécules liquides. Ainsi libérées, les parcelles de tissus ont pu obéir à l'action dispersive de la balle et jouer le rôle de projectiles secondaires.

Au total, ici encore, pour expliquer les graves désordres des coups de feu de près, il convient de faire appel aux vibrations imprimées à la masse solide et au mouvement de propulsion communiqué à quelques-unes de ses parties.

C. — Des conditions qui modifient l'action des balles. — Comme le mécanisme de l'action et de la réaction réciproques des projectiles et des tissus du corps humain se résume en une transmission de force, tout ce qui modifie cette transmission modifie par cela même les effets produits, en particulier la *blessure*. Or, deux conditions principales favorisent l'abandon, par la balle, de la force vive dont elle est animée : la *durée* et la *surface de son contact* dans le but frappé.

La *durée du contact* augmente sous deux influences différentes. D'une part, par suite de son ralentissement normal après un long trajet, le projectile traverse plus lentement qu'au début

de sa course le milieu qu'il rencontre : il peut même s'y arrêter et y abandonner ce qui lui reste de force vive. Mais cette dernière est alors considérablement réduite. N'est-elle pas, en effet, proportionnelle au carré de la seule vitesse restante ? et au total, l'influence sur la blessure produite, de la durée plus longue de contact, dans les coups de feu reçus à longue distance, n'est que relative. Il n'en est plus de même, par contre, surtout aux distances rapprochées, lorsque la prolongation du contact du projectile tient à la résistance même que le milieu oppose à la progression de la balle. Indépendamment de toute autre condition de gravité, l'expérience, d'accord avec la théorie, démontre que le désordre mécanique produit est plus sérieux, lorsque le projectile a frappé le squelette que lorsqu'il a simplement perforé les parties molles. La transmission de la force a été facilitée par la résistance de l'obstacle, cause de la prolongation du contact du projectile et des tissus.

La durée de ce contact dépend, dans une certaine mesure, de la *surface de contact* du projectile. Celle-ci, en effet, est-elle large, la résis-

tance éprouvée par la balle est grande, son mouvement en est ralenti, son séjour au sein des tissus en devient plus long. Toutefois, si l'on analyse séparément l'influence de l'un et de l'autre des deux termes, l'on voit que plus importante est la surface que la durée du contact.

Cette surface de contact du projectile se décompose en *surface de frappe* et *surface de frottement*. La première est la surface de la section de la balle parallèle au plan frappé, c'est elle qui transmet l'action de marteau. La surface de frottement qui transmet les actions de coin et de perforateur, comporte toute la surface du projectile, moins le cercle du culot.

Si nous supposons deux balles animées d'une égale force vive, mais de calibres différents, leurs coefficients de pression seront différents, la plus grosse possédant le plus faible. Cette balle, par suite, éprouvera plus de difficultés pour traverser un obstacle ; on peut même la voir s'y arrêter et, par suite, y abandonner toute sa force vive alors que la balle de calibre plus réduit continue sa course, ce qui nécessite la persistance d'une certaine force vive ; la

balle du plus faible calibre n'a donc pas laissé dans le but autant de force que la première.

Sans faire ressortir que cette donnée plaide en faveur des balles anciennes de gros calibre, comme agents de blessures sévères, il convient de remarquer qu'elle incite à l'adoption de balles facilement déformables, c'est-à-dire susceptibles d'élargir leur surface de contact, aux lieu et place des balles cuirassées actuelles tenues par certains pour insuffisantes. Pour des raisons balistiques, cette facile déformation des balles est par elle-même un obstacle à leur adoption et, du reste, il existe un autre moyen d'élargir la surface de contact des balles de faible calibre. Il suffit qu'elles soient peu stables sur leur trajectoire : le moindre heurt, la traversée d'un milieu non homogène trouble leur mouvement de rotation et, comme nous l'avons déjà dit, à propos des mouvements anormaux des projectiles, au lieu de frapper par la pointe, elles frappent obliquement, ou suivant les larges surfaces qu'engendre leur rotation anormale.

D. De l'intervention de l'air atmosphérique dans l'action des balles. — Que la balle dans sa course, réagisse sur l'air qui s'oppose

à son déplacement, qu'elle lui transmette une partie de la force vive dont elle est animée, le fait est indéniable.

E. Mach et P. Salcher ont démontré par la photographie l'existence d'une calotte d'air comprimé à l'avant du projectile en marche, lorsque celui-ci possède une vitesse supérieure à 340 mètres, c'est-à-dire environ pendant les 500 premiers mètres de son trajet. L'épaisseur de la couche d'air comprimé varie, suivant la forme et la vitesse de la balle, entre 2 et 4 millimètres ; le sommet de la calotte se trouve en avant de la pointe du projectile et son axe se confond avec la trajectoire. Du corps de la balle partent, sur la photographie, des lignes droites, divergentes vers l'arrière, symétriques par rapport à la trajectoire. Enfin, on distingue encore d'autres lignes moins nettes qui divergent du culot en formant avec la trajectoire des angles plus petits que celui dessiné par l'hyperbole, limite de la calotte antérieure. Ces angles, de plus, diminuent lorsque la vitesse augmente.

Si la balle est animée d'une plus grande vitesse, il se produit un nouveau phénomène : le canal qu'elle laisse derrière elle paraît rempli

de petits nuages d'un aspect particulier. Ils sont à peu près réguliers et symétriques et ressemblent à des perles enfilées sur un cordon tendu le long de la trajectoire. Leur aspect rappelle celui des petits nuages d'air échauffé que laisse derrière elle l'étincelle électrique lors de son passage dans l'air, et où l'on peut distinguer des mouvements tourbillonnaires. On dirait des tourbillons enfilés sur la trajectoire. Ces petits nuages floconneux, qui indiquent la traînée de la balle, seraient visibles à l'œil nu.

En somme, le mode de progression de la balle dans l'air est identique à celui d'un bateau sous-marin. Comprimant et refoulant l'air devant et autour d'elle, elle produit derrière son culot un vide où se précipitent les couches aériennes voisines. Cette mise en mouvement de l'air se complique encore par la transmission des vibrations propres au projectile lui-même, et tous ces mouvements engendrent le *sifflement de la balle*.

Le bruit des projectiles en marche présente à l'oreille une très grande différence, selon que l'observateur est placé à proximité ou loin de l'arme qui les a lancés. Dans le premier cas,

on entend une *détonation*, dans le second un *sifflement*. Étudiés expérimentalement à l'École de tir du camp de Châlons par le commandant Journée, ces deux bruits se sont montrés en rapport avec deux états particuliers de la vitesse des projectiles. Celle-ci surpasse-t-elle la vitesse normale du son dans l'air, l'oreille perçoit une détonation. Si elle lui devient inférieure, c'est un sifflement qui est entendu. Pareille différence s'explique parce que, dans le premier cas, l'oreille reçoit simultanément le bruit propre du projectile et celui de la détonation du coup de feu, tandis que, dans le second, le sifflement du projectile est seul perçu. Les caractères du premier de ces deux bruits concordent bien avec cette explication ; c'est un roulement prolongé d'intensité croissante, puis décroissante, terminé par un renforcement dû à l'arrivée du bruit de la détonation dans l'oreille jusque-là impressionnée par le seul sifflement du projectile qui, dans sa course, s'est approché puis éloigné de l'observateur.

Que l'on entende simultanément les deux bruits quand la vitesse de la balle et la vitesse du son concordent, cela n'a rien d'étonnant,

mais qu'il en soit de même lorsque le projectile est animé d'une vitesse supérieure à 340 mètres, cela demande une explication.

D'après le commandant Journée, la balle entraîne pour ainsi dire avec elle les ondes sonores de la détonation du coup de feu, tant que sa vitesse est supérieure à leur vitesse normale, puis elle se laisse dépasser par elle, lorsque son mouvement est tombé au-dessous de cette limite. Fusionnés d'abord, les deux bruits, détonation de l'arme et sifflement de la balle, se trouvent alors dissociés : c'est le son de l'explosion de la poudre qui arrive le premier.

De tout ce qui précède, il ressort que l'air ébranlé par le passage du projectile impressionne l'oreille à laquelle, en fait, il transmet une partie de la force vive de la balle. Cette transmission peut-elle aboutir à des désordres d'organes moins délicats que l'appareil de l'ouïe ? Quelques faits semblent établir que le passage d'une balle à proximité de la cornée a été suivi de lésions de cette membrane, mais il n'y a pas lieu, croyons-nous, de discuter longuement la théorie de Melsens sur le *projectile-air*.

Melsens admet que les effets produits sur les tissus par les balles sont la résultante de l'action de deux projectiles frappant simultanément : le projectile *solide* qui se déforme sans changer sensiblement de volume, et le projectile *gazeux* qui, comprimé en avant du solide, tend à reprendre son volume primitif correspondant à la pression atmosphérique, tout en perdant sa force vive et en produisant des dilacérations particulières qui, dans des cas donnés, peuvent simuler l'effet produit par une balle explosible. Le projectile lancé par une arme à feu exerce trois actions très différentes qui se succèdent dans un intervalle de temps très court :

1° L'action de l'air due à son poids et à sa forme ;

2° L'action due à l'élasticité du gaz dont le volume augmente subitement ;

3° L'action du solide qui se déforme sans changement sensible de volume et *frappe les parties déjà entamées par l'action du projectile-air.*

L'importance du rôle accordé au projectile-air se trouve annulée par les expériences du colonel Henrard et du commandant Journée.

Ce dernier remarque que, lorsqu'on tire une balle à travers une cible de toile et de papier de 5 à 7 millimètres d'épaisseur, les perforations produites par le projectile ont exactement son diamètre sans trace d'éclatement ou de déchirures causés par le manchon d'air.

Le colonel Henrard tire une balle peinte en bleu sur une cible fraîchement peinte en rouge; la balle s'aplatit et est légèrement teinte en rouge au centre de sa surface d'impact, c'est-à-dire au point où, d'après la théorie de Melsens, devrait exister une cupule creusée par la résistance du projectile-air. Autrement, un obus pénètre dans l'argile en creusant un canal de même calibre que le sien sans trace d'action du projectile-air.

§ 4. — La zone d'action des petits projectiles et leurs zones d'effets sur le corps humain.

Zone dangereuse. — De la bouche du fusil qu'il quitte jusqu'au point extrême d'une course qu'aucun obstacle n'arrête, le projectile est susceptible de produire une action vulnérante

plus ou moins énergique. Par suite, si tirée à hauteur d'homme, la balle traçait dans l'air une ligne droite parallèle à la surface d'un terrain bien plan, elle atteindrait le soldat ennemi à quelque distance qu'il se trouvât placé devant le tireur. Mais le trajet, la *trajectoire* suivie par la balle, n'est pas une ligne droite, le terrain non plus, en général, n'est pas plan.

Soumis à l'action de la pesanteur, le projectile à chaque moment de sa course tombe vers le centre de la terre, dont il rencontre la surface après avoir décrit une courbe dont un second élément vient modifier la forme. La résistance de l'air, en effet, s'opposant à la migration de la balle, incurve et raccourcit sa trajectoire. En somme, cependant, celle-ci se rapproche notablement d'une ligne droite, quand le but visé se trouve aux distances inférieures à 500 mètres. Alors, la balle peut atteindre un homme tout le long de sa trajectoire qui est dite rasante, elle mesure la *zone dangereuse*. Dans ces conditions de tir, la balle autrichienne frappe tout ce qui est à hauteur d'homme jusqu'à 545 pas, la balle italienne jusqu'à 500, la russe 494, l'allemande 383, la

française 374. La balle du fusil de 6 millimètres des États-Unis jusqu'à 550 mètres ne s'élève pas au-dessus de la tête d'un homme. Le tableau suivant donne une idée des trajectoires suivies par la balle du fusil autrichien tirée aux distances indiquées.

DISTANCES EN PAS	HAUTEUR DE LA FLÈCHE DE LA TRAJECTOIRE DE								
	100	300	500	800	1.000	1.600	2.000	2.600	3.000
Tir à 500 pas	0m46	0.77	0						
— 600 —	0 60	1.30	0.9						
— 800 —	1 10	2.50	2.90	0.60					
— 1.000 —	1 30	3.20	4.00	2.50	—0.9				
— 1 600 —	3 00	8.30	12.70	16.10	16.50	0.70			
— 2.000 —	4 40	12.50	19.50	27.30	30.00	22.30	—0.8		
— 2.600 —	7 20	21.00	27.60	50.10	58.50	67.70	—3.0		
— 3.000 —	9 90	29.20	47.10	71.90	85.70	111.00	109.70	—5 10	»

Mais, plus le but visé s'éloigne, plus le tireur doit relever son arme, plus la balle s'élève pour, ensuite, retomber d'autant plus rapidement qu'elle est montée plus haut. La position descendante des trajectoires ainsi décrite se rapproche par suite d'autant plus de la verticale

que la balle a été lancée plus loin et, comme l'indique la figure 9, la zone dangereuse, la *zone des contacts utiles* diminue progressivement de longueur.

Le tableau suivant donne la longueur des zones dangereuses pour la balle du fusil 1886

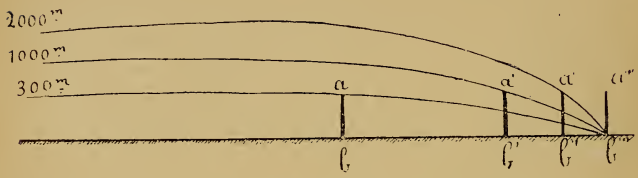


Fig. 9. — Diminution de la zone dangereuse avec l'éloignement du tir. — Les traits verticaux représentent les silhouettes des buts (fantassins, cavaliers).

tirée en terrain horizontal, aux distances de 500 à 2,000 mètres.

DISTANCES	CAVALIER 2m,10	HOMME DEBOUT 1m,60	HOMME A GENOU 1m,20	HOMME COUCHÉ 0m,55
500 mèt.	500 mèt.	500 mèt.	85 mèt.	10 mèt.
1.000 —	55 —	35 —	24 —	11 —
1.800 —	15 —	10 —	7 —	4 —
2.000 —	12 —	8 —	6 —	2 —

Le second élément qui influence la longueur de la zone dangereuse, c'est le terrain qui peut être horizontal ou encore descendant, ou ascendant vers le but visé. Descendant, il épouse plus ou moins la courbe de la trajectoire, et la longueur de la zone dangereuse AB′ s'en trouve augmentée (fig. 10). Ascendant, il

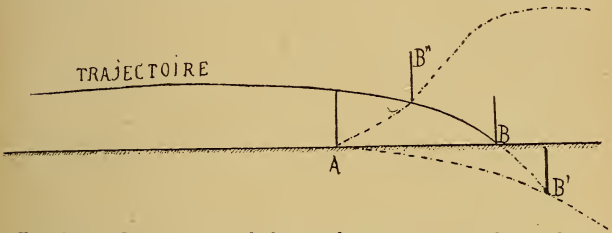


Fig. 10. — Divers aspects de la zone dangereuse suivant les accidents du terrain.

a une influence inverse, il raccourcit la zone dangereuse AB″.

Dans l'étude de la zone dangereuse des balles, il convient encore de tenir compte des *ricochets* qu'elles sont susceptibles de fournir. Telle balle, en effet, qui tout le long de sa trajectoire n'a rencontré aucun ennemi, peut après avoir frappé le sol rebondir et provoquer une blessure. Sur un sol horizontal résistant, les balles ricochent au delà de leur point d'arri-

vée, pourvu que la distance du tir ne dépasse pas 1,700 à 1,800 mètres. Une balle peut faire plusieurs bonds successifs d'une amplitude de 300 à 400 mètres, dans le tir aux petites distances, comme 600 mètres, de 200 à 300 mètres dans le tir aux distances moyennes, soit entre 600 et 1,200 mètres, enfin de 100 à 200 mètres, au delà de 1,200 mètres, c'est-à-dire aux grandes distances.

En général, la longueur du ricochet est d'autant plus grande que l'angle d'arrivée du projectile sur le sol est plus faible ; de là des ricochets plus longs sur un sol descendant, plus courts sur un sol ascendant. Enfin, on ne perdra pas de vue l'influence de la plus ou moins grande résistance du sol et de la configuration des détails de sa surface. Quoi qu'il en soit, le long de sa trajectoire de ricochet, la balle est susceptible de provoquer une blessure, quand elle rencontre un homme.

Ce dernier, lui aussi, doit retenir l'attention, car il fournit une donnée indispensable à connaître, lorsque l'on veut préciser la longueur de la zone dangereuse dans le tir à une distance déterminée. Cette longueur,

en effet, varie suivant la hauteur du but visé. Le tableau suivant fournit, à cet effet, des données moyennes et, par curiosité, nous avons adjoint aux données relatives à la hauteur moyenne du cavalier et du fantassin, celle de leur surface vulnérable.

Hauteur moyenne	du fantassin debout. . . .	1^{m}, 620
	du tireur à genou.. . . .	1 039
	— couché.	0 448
	— dissimulant la tête et les épaules	0 238
	du cavalier monté.. . . .	2 434
Surface projetée sur un plan vertical	du fantassin debout, de face. .	0^{mq}, 4753
	— de flanc. .	0 2799
	du tireur à genou de face. . .	0 3248
	— couché de face. . .	0 1612
	— couché dissimulé. .	0 1190
	du cheval de front.	0 8362
	— de flanc.	1 5922
	du cheval et cavalier de front. .	1 1299
	— de flanc. .	1 8006

Zones d'effets. — Basée sur la distance à laquelle les coups de feu ont été tirés, une classification des effets produits par les petits projectiles sur le corps humain paraît pouvoir fournir, a priori, des renseignements utiles aux combattants comme aux médecins. En réalité, cette classification est fort défectueuse, car elle

ne tient pas compte de l'un des deux facteurs principaux de la blessure : la résistance variable des divers tissus atteints indépendamment même de l'importance vitale des organes lésés. Si la quotité de force vive du projectile dépendant de sa vitesse et par suite du chemin qu'il a parcouru peut caractériser le désordre produit dans un *milieu homogène*, il n'en est plus de même dans un milieu de structure complexe comme le corps humain ; ici, les caractères de la blessure découlent plus encore de la nature des organes touchés que des qualités dynamiques du projectile qui les a frappés. Il conviendrait donc d'examiner pour chacun des tissus et des organes, les désordres provoqués par le passage du petit projectile animé de vitesses variables, autrement dit les désordres qu'il causerait, les coups ayant été tirés à des distances progressivement croissantes. Mais, une classification basée sur de pareilles données n'est, en fait, autre chose que la description complète des blessures de guerre, et ne saurait trouver place ici, dans une étude générale comme celle qui nous occupe.

Pour mémoire des travaux anciens et sans

y attacher autrement d'importance, nous rappellerons que relativement aux blessures observées, on a divisé le trajet parcouru par les petits projectiles en 3 zones :

1° *Zone d'effets explosifs,* caractérisée par des désordres tels qu'ils font songer à une véritable explosion dans l'épaisseur des tissus. Typiques dans les coups de feu à bout portant, on les observe jusqu'à 200, 300, voire même 500 mètres, dans les organes riches en liquides : cerveau, cœur.

2° *Zone de perforation*, dont la dominante, comme le nom l'indique, est la perforation plus ou moins nette des tissus. Elle s'étend jusqu'à 2.000 et même 2,200 mètres.

3° *Zone de contusion.* — Au delà de 2,200 mètres jusqu'au point de chute, la balle animée d'une vitesse de propulsion très réduite agit surtout par son mouvement de rotation, contond les tissus et, sans rompre la peau, peut encore causer des fissures ou des fractures osseuses, des contusions viscérales.

Bien que la nature des tissus rencontrés par les projectiles ne soit pas indiquée et que, par suite, elles ne renseignent pas sur la résistance

qu'ils ont dû vaincre, les expériences dont les résultats suivent, fournissent sur la force de pénétration des balles quelques indications susceptibles de frapper l'esprit.

A 300 mètres, une balle Lebel perfore 4 cadavres et traverse le bras d'un cinquième.

A 500 mètres, elle perfore 3 cadavres et reste dans le quatrième ; à 1,000 mètres, 2 cadavres sont perforés et la clavicule du cinquième brisée.

A 1,700 mètres, 1 seul cadavre est traversé et la balle s'arrête dans le second.

La balle du Mosin russe, à 600 mètres, a pu perforer 7 cadavres.

Aux diverses distances entre 100 et 1,200 mètres, le projectile italien de $6^{mm},5$ traverse de 5 à 2 cadavres.

Enfin, la balle du fusil de 6 millimètres des États-Unis, à 4,570 mètres, traverse 2 ou 3 hommes. A 5,490 mètres, elle en perfore un.

Ces faits viennent à l'appui des réserves signalées plus haut, au sujet de la valeur des diverses zones d'effets généralement admises.

Quoi qu'il en soit, les blessures immédiate-

ment mortelles seront nombreuses ; la quantité des projectiles tirés compensera la réduction de leur volume, si tant est qu'une balle de 8 millimètres ait beaucoup moins de chance que celle de 11 millimètres de léser un organe important. Les vaisseaux de calibre moyen, en particulier, seront plus gravement atteints ; car au lieu d'être broyés et oblitérés, ils seront nettement sectionnés ; les morts par hémorragie seront fréquentes. Mais, si le chiffre des tués sur le champ de bataille doit être important, les blessés qui auront pu être relevés auront plus de chances de guérison que jadis. La petitesse et la netteté du trajet laissé par le projectile dans les parties molles et les os spongieux, l'étroitesse des orifices cutanés et, par suite, les dangers moindres d'infection : telles sont les conditions favorables pour la guérison. Celle-ci sera plus complète, et il est à prévoir que les guerres futures donneront moins d'invalides. La guérison sera plus rapide et sans doute un certain nombre de blessés se trouvera en état de reprendre les armes, pour peu que les hostilités se prolongent.

§ 5. — Les petits projectiles des revolvers actuels d'ordonnance.

Les diverses puissances se sont généralement peu occupées jusqu'ici de modifier le calibre et la constitution des balles de leurs revolvers. Tous les efforts se sont concentrés sur l'armement de l'infanterie, aux dépens naturellement de cette petite arme qui, sans doute, sera utilisée dans plus d'une circonstance de la guerre.

A l'heure actuelle, trois puissances, à notre connaissance, ont transformé la balle du revolver d'ordonnance, d'après les données les plus récentes de la balistique. Ce sont la Russie, la Suisse et la France. Quant aux autres, elles possèdent des balles de plomb mou ou durci, de gros calibre (9 à 12 milimètres), lancées par la déflagration de l'antique poudre noire.

1°. Qualités physiques. — *Forme.* — Les nouvelles balles de revolver, comme celles des fusils, tendent à revêtir toutes la même forme : cylindro-ogivale, avec ou sans méplat.

La balle du revolver suisse a une extrémité ogivale assez allongée, sans méplat.

La balle russe et la balle française présentent toutes deux à la pointe de l'ogive un méplat d'un diamètre de 5 millimètres. A 4 millimètres de la base, la balle russe porte 4 empreintes transversales légères aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires l'un sur l'autre.

Au niveau du tiers postérieur des balles suisse et française, se voit une petite rainure

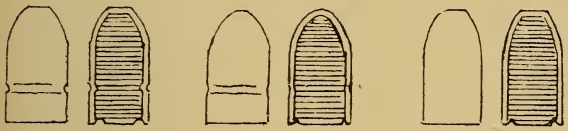


Fig. 11. — Balles de revolver de petit calibre.

circulaire destinée à assurer l'union avec l'étui au collet de la cartouche.

Calibre. — Le calibre est, en général, le même que celui de la balle du fusil. La balle russe a un diamètre de $7^{mm},62$, comme la balle du fusil de 3 lignes ; de même la balle française, qui mesure 8 millimètres de diamètre. Seule, la balle suisse fait exception et n'est que de 7 millimètres, alors que le fusil a un calibre de $7^{mm},50$.

Longueur. — La longueur est à peu près la même que celle des anciennes balles de revolver.

La balle russe mesure 16 millimètres de longueur, la balle suisse 16 millimètres également et la balle française $15^{mm},5$. On voit que ces longueurs sont très voisines l'une de l'autre.

Constitution. — Ces 3 balles sont cuirassées, la balle russe d'une enveloppe de *maillechort*, les balles suisse et française d'une enveloppe de *cuivre*. Ici, l'on n'a pas hésité à employer le cuivre pour la fabrication du manteau. La faible longueur de la balle relativement à son calibre, la vitesse moindre dont elle est animée rendent moins aisée sa déformation.

Poids. — Presque les mêmes : la balle russe pèse 7 grammes, la suisse $7^{gr},30$ et la française $7^{gr},50$.

Une assez notable diminution de poids a été réalisée, si l'on se rappelle que la balle de notre revolver 1873 pesait $11^{gr},60$ et que la balle du revolver allemand modèle 1883 de $10^{mm},8$ pèse encore 17 grammes.

2° Qualités dynamiques. — La vitesse initiale de la balle russe est de 275 mètres ; les vitesses

restantes sont, par suite, bien supérieures à ce qu'elles étaient avec les revolvers d'ancien modèle. On en jugera aisément si l'on sait qu'à 25 mètres les balles traversent 3 à 5 planches de sapin de 2cm,5 d'épaisseur et qu'à 142 mètres, une planche de 2cm,5 est encore traversée.

La balle suisse possède une vitesse de 223 mètres. Elle ressemble presque de tous points, par conséquent, à la balle française dont la vitesse est de 220 à 222 mètres, à peu près celle de la balle Lebel à 1,000 mètres. La vitesse de rotation des deux balles est de 570 tours à la seconde.

A la distance de 10 mètres, la force vive est d'un peu plus de 18 kilogrammètres, environ celle du projectile Lebel à 2,000 mètres.

Enfin, comme conséquence de ces données, la portée efficace des balles de revolver, que nous venons de décrire, est bien supérieure à celle des autres balles ; elle est de 90 à 100 mètres pour les balles suisse et française, tandis qu'elle n'était que de 40 à 60 mètres avec les projectiles précédemment employés. La portée de la balle russe doit même être plus grande, en vertu de la supériorité de sa vitesse initiale.

3° Action sur le corps humain. — Ce que nous avons dit des balles cuirassées des fusils est absolument applicable aux balles des revolvers, à la condition de tenir compte de la diminution de la masse et de la vitesse de ces derniers projectiles, ce qui nous permet d'éliminer d'ores et déjà la zone d'action explosive, pour n'accorder aux balles de révolver qu'une action de perforation ou une action de contusion. Les phénomènes produits par ces deux actions sont soumis aux mêmes lois que celles qui régissent les projectiles des fusils de petit calibre, nous n'y reviendrons pas.

Conclusion.

Si nous promenons un regard d'ensemble sur l'étude à laquelle nous venons de nous livrer, nous remarquons la supériorité incontestable balistique, sinon vulnérante, des balles actuelles de *petit calibre* sur leurs devancières, que nous sommes autorisés maintenant à qualifier de balles de *gros calibre*.

Cette supériorité existe au triple point de vue de la diminution du calibre, de l'augmentation des vitesses, de la difficulté de la déformation.

Quant aux lésions chirurgicales, elles paraissent avoir bénéficié de l'avènement de ces nouveaux projectiles, dont l'action, aux distances habituelles du tir (de 600 à 1,200 mètres), équivaut à une perforation plus ou moins nette des tissus et des organes.

Mais, à peine les calibres de 8 à $6^{mm},5$ viennent-ils d'être adoptés que l'on entend déjà parler de leur réduction pour descendre aux *minimes calibres*, c'est-à-dire aux calibres inférieurs à $6^{mm},5$. Les États-Unis ont inauguré cette nouvelle série en créant, pour leur ma-

rine, une balle de 6 millimètres (fig. 1, page 9). En Europe, la question est à l'étude chez toutes les puissances et, cependant, malgré l'avantage de pouvoir, par la réduction du calibre, porter et tirer un plus grand nombre de cartouches, malgré celui de la plus grande précision, de la plus longue portée, on hésite à se lancer dans cette voie à peine ouverte.

C'est que l'on craint, en effet, d'arriver à transformer les fusils en des carabines de salon, en des « fusils d'enfants ».

Nous avons fait allusion plus haut aux échos, qui nous sont revenus des Indes, du Dahomey, de l'Abyssinie.

Nous avons vu les Anglais employer une balle déformable dans le but de mettre plus sûrement hors de combat leurs ennemis.

C'est de ce côté, en effet, que s'orientent les recherches de quelques-uns des ouvriers de la guerre ; le projectile actuel est, selon eux, trop humanitaire. Sa coque trop résistante doit être allégée par endroits pour faciliter l'écrasement du plomb dans les plaies. — D'autres prévoient des balles très longues, peu stables sur leur trajectoire, susceptibles d'acquérir par la

rencontre du moindre obstacle un mouvement de pirouette favorable à la transmission de leur force vive.

Quelques voix s'élèvent bien contre cette barbarie, essayant de dénoncer la balle déformable comme contraire aux principes humanitaires qui doivent régner entre nations civilisées. Que va-t-il sortir de cette agitation? Peut-être un minime calibre, mais presque certainement des conditions soit physiques, soit dynamiques spéciales, qui augmenteront la puissance meurtrière du projectile.

Nous sommes portés à craindre que la période actuelle, dont le début remonte à 1886, ne mérite plus tard d'être tenue pour la plus favorable quant aux qualités chirurgicales, c'est-à-dire humanitaires, des projectiles des fusils de guerre. Puissions-nous, aux balles taxées par quelques-uns d'insuffisantes, ne pas voir substituer des balles qui tueront trop sûrement!

II

PROJECTILES D'ARTILLERIE

Tout autant que les balles, les *gros projectiles* se sont modifiés depuis leur première apparition sur les champs de bataille et, à l'heure actuelle, une transformation nouvelle du matériel d'artillerie est en cours d'exécution chez nous et en Allemagne.

Nous ne saurions passer en revue ce que furent les *canons* anciens et prendre connaissance des modifications qu'ils ont successivement présentées. D'autre part, tandis que les armes portatives se résument en quatre types : fusil, carabine, mousqueton et révolver, dont les trois premiers lancent le même projectile, les bouches à feu actuellement en usage chez nous et à l'étranger sont très variées. Les décrire serait un hors-d'œuvre et cependant leur diversité même rend nécessaire une brève énu-

mération. Celle-ci mettra en relief la complexité de l'armement de l'artillerie, complexité qui se retrouve quelque peu dans les gros projectiles.

§ 1. — Bouches à feu.

Le matériel en service comprend :

Des *canons de campagne*, dont le calibre varie de 80 à 90 millimètres ; chaque puissance possédant, en général, deux types de ces canons, celui de calibre inférieur s'appelant « *canon léger* », celui de calibre supérieur « *canon lourd* ».

Des *canons de montagne*, dont le calibre répond communément à celui du canon léger de campagne, parfois raccourci ;

Des *canons de siège et de place*, plus volumineux que les précédents, des calibres de 120, 155, 240 millimètres, etc ;

Des *canons de marine, de côte*, de dimensions encore supérieures, leur calibre pouvant atteindre jusqu'à 40, 45 centimètres ;

Des *canons à tir rapide*, caractérisés par leur faible calibre (de 75 à 77 millimètres). La diminution ou même la suppression du recul de

la pièce rendant inamovible la ligne de tir permet, par suite, la rapidité de ce tir. Le nouveau canon à tir rapide français de 75 millimètres peut fournir jusqu'à 15 coups sûrs à la minute ;

Des *canons-revolvers*, des *canons à balles*, formés par la réunion de plusieurs canons (5 en général) de moyen calibre ;

Des *mitrailleuses*, constituées également par la juxtaposition d'un certain nombre de canons (4-6 à 10) de petit calibre.

La principale différence entre ces trois dernières bouches à feu tient à ce que le canon-revolver tire un projectile explosible, un petit obus, le canon à balles des séries de balles assez volumineuses, et enfin la mitrailleuse lance des balles d'infanterie, par conséqueut des projectiles inexplosibles.

En résumé, sous le nom générique de canon, on range des bouches à feu de types différents que l'on distingue encore, suivant la trajectoire habituellement décrite par leurs projectiles, sous les noms de *canon*, *mortier*, *obusier*. Une définition est nécesaire pour comprendre les différences qui séparent ces termes.

Le *canon tire*, c'est-à-dire lance un projectile, dont la trajectoire décrit une courbe relativement modérée. Exemple : le tir de plein fouet sur un obstacle.

Le *mortier bombarde*, c'est-à-dire lance, suivant un trajectoire qui se rapproche au départ de la verticale, un projectile destiné à retomber derrière un obstacle.

L'*obusier*, ou canon court, *tire et bombarde*.

A remarquer encore qu'une même pièce d'artillerie peut tirer des *projectiles différents*, suivant l'action destructive désirée. Elle lance tantôt des *obus chargés d'explosifs* contre les obstacles matériels, tantôt des *obus à mitraille* ou *à balles* contre les troupes.

En outre du canon à tir rapide dont l'artillerie vient d'être munie, le matériel de cette arme comporte les bouches à feu énumérées dans les tableaux suivants.

I. — *Matériel d'artillerie.*

			POIDS MOYEN DES PROJECTILES	VITESSE INITIALE	
Artillerie de campagne.	Canons en acier rayé se chargeant par la culasse, de	80mm	6kgr	490m	
		90	8, 500	455	
		120 court	19	292	203 153m
Artillerie de montagne.	Id.	80	6	257	
Artillerie de siège.	Id.	95	11	443	
	Id.	120	19	484	
	Id.	155 long	40, 500	469	
	Id.	220	100	(?)	
	Id.	155 court	40, 500	90 à 303m	
	Mortiers en acier rayé se chargeant par la culasse, de	220	100	70 à 260	
		270	150	(?)	

Artillerie de place. Canons de 95mm, 120mm, 155mm long, 155mm court et mortier de 220mm

Canon en bronze rayé, de 12, 12kgr

Canon revolver 24 balles de 32gr

Mortiers lisses en bronze se chargeant par la bouche, de 15cm 22cm, 27cm, 32cm

Artillerie de côte. Canons en fonte rayés, tubés et frettés en acier se chargeant par la culasse, de 19cm, 24cm, 27cm 32mc

Canon en acier de 95mm

— de 240

Mortier en acier de 270

II. — *Matériel ancien maintenu provisoirement en service.*

Artillerie de place.	Canons en bronze rayés se chargeant par la culasse, de	5cm	7cm	138mm	
	— — — par la bouche —	4	de montagne		
	— — — — —	4	8	12	de campagne
	— — — — —	12	24	de siège	
	— — — — —	12	24	de place	
	Obusiers lisses en bronze. . . . . —	15	16		
	Canon obusier lisse en bronze. . . . . —	12	léger.		
	Canons à balles ou mitrailleuses.				
Artillerie de côte.	Canon en fonte rayé et fretté se chargeant par la culasse, de 16cm (Mle 1858-60).				
	— — — par la bouche de 30				
	— — — — de 16 (Mle 1820-40, 1849, 1858).				
	Obusier en fonte rayé se chargeant par la bouche. . . de 22				
	Mortier à plaques. . . . . de 32				

§ 2. — Description des projectiles d'artillerie.

GROS PROJECTILES

En tant qu'agents fauteurs de blessures, les projectiles d'artillerie ne méritent plus le nom de gros projectiles. Ils ne sont plus destinés à agir sur les troupes ennemies par leur masse intacte, comme les anciens boulets : leur caractéristique, c'est leur *réductibilité en de très nombreux petits projectiles.* Il est même admis que si les obus actuellement en service sont supérieurs à ceux tirés au cours de la guerre de 1870-71, l'augmentation de leur efficacité sur l'ennemi tient non seulement à l'accroissement de leur *vitesse restante* lors de l'arrivée au but, mais aussi à leur *mode de fragmentation.* Ils se décomposent en un nombre de projectiles secondaires de six à sept fois plus élevé que celui fourni en 1870-71 par l'obus lourd allemand.

De même, les obus destinés à détruire les obstacles matériels ne sont plus comparables aux boulets pleins ; ils n'agissent plus exclusivement par leur masse, mais bien par l'explo-

sion de leur contenu ; ils ne sont plus simplement l'*agent destructeur*, ils sont constitués en *véhicules d'explosifs*.

Ces données générales exposées, quels sont les gros projectiles usités à l'heure actuelle ? Des *obus* et des *boîtes à mitraille*.

OBUS

L'*obus* (fig. 12) est une masse métallique creuse cylindro-ogivale, à ogive légèrement tronquée à son extrémité, de longueur variant entre 2 et 4 fois et demi le calibre de la pièce. La partie postérieure cylindrique est munie d'une *ceinture* en plomb ou en cuivre (*c*), pour assurer le forcement dans l'âme de la pièce ; elle se termine par le *culot* (*d*).

La partie antérieure, ou *ogive* (*a*), réunie à la portion cylindrique par un renflement, porte au centre du méplat un orifice, l'*œil* ou la *lumière*, où se visse la *fusée*, mécanisme destiné à enflammer la charge de *poudre d'éclatement*. On donne ce nom à la poudre enfermée dans le corps de l'obus, et dont la déflagration doit faire éclater le projectile, tandis que la

poudre de chargement contenue dans un sac de toile (autrement dit la *gargousse*) est placée dans la culasse de la pièce, en arrière de l'obus. La déflagration de celle-ci, grâce à l'*éloupille* ou capsule de fulminate, que fait partir le

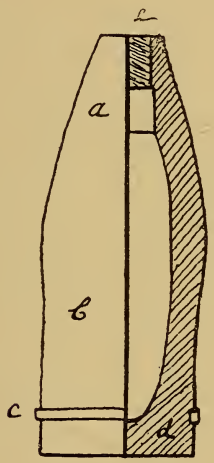


Fig. 12. — Obus.

canonnier, a pour but simplement la propulsion du projectile. Dans certaines pièces à feu récemment adoptées, l'obus et la charge de poudre sont réunies en une véritable cartouche.

Les fusées destinées à provoquer l'explosion des obus sont de plusieurs sortes :

La *fusée percutante,* qui fonctionne grâce au choc à l'arrivée ;

La *fusée fusante* qui, allumée au départ de l'obus, enflamme sa charge d'éclatement, après un laps de temps plus ou moins long, au gré de

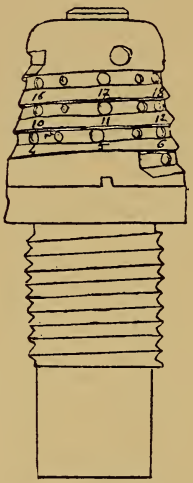


Fig. 13. — Aspect extérieur d'une fusée à double effet.

l'artilleur. Les obus pourvus de ces fusées sont préparés pour éclater en l'air. Mais comme, parfois, cet éclatement peut ne pas se produire, les fusées fusantes sont généralement construites *à double effet,* c'est-à-dire qu'elles sont pourvues d'un mécanisme percutant (fig. 13).

Quant à la constitution et au contenu de l'obus, ils varient suivant l'effet destructeur ou vulnérant recherché. A ce point de vue, on distingue les projectiles destinés à agir contre les obstacles matériels et les projectiles destinés à atteindre le personnel.

A. Projectiles destinés a agir contre les obstacles matériels : maisons, remparts, levées de terre, etc. — Ces obus peuvent agir sur le personnel soit indirectement par les corps qu'ils mobilisent, soit directement par leurs éclats et par les gaz qui résultent de l'explosion. Leur caractéristique est de contenir une forte charge de poudre ou d'explosif. Ils comprennent :

1° *Les obus ordinaires.* — Les obus français, de type relativement ancien, sont tout en fonte (voyez fig. 12). Leurs parois ont une forte épaisseur (1/6 du calibre). Ils sont chargés à poudre noire, exceptionnellement à substances explosives.

Le nombre, la forme et le poids des éclats fournis par ces obus varient suivant le calibre de ces derniers. Pour les obus de 80 et de 90, le nombre des éclats peut atteindre de 30 à 40

avec prédominance des gros fragments de 50 à 300 grammes. Ces derniers sont de forme

Fig. 14. — Éclats d'obus ordinaires de 90.
(En haut et à gauche, débris de fusée. En bas et à droite, le culot.)

légèrement allongée, plus ou moins quadrangulaire, à bords faiblement biseautés. Les petits

éclats ont un aspect assez irrégulier. Parfois parallélipipédiques, ils peuvent être triangulaires, ou même plus ou moins arrondis. Le culot reste entier, de même que l'extrémité de l'ogive et la fusée.

Pour les obus de 95, dont les éclats varient comme nombre de 60 à 100, ce sont les petits, du poids de quelques grammes à 25 grammes, qui prédominent. Ces différences ressortiront plus nettement de la lecture du tableau suivant :

ÉCLATS DES OBUS ORDINAIRES FRANÇAIS

CALIBRE DE LA PIÈCE	POIDS DE LA CHARGE intérieure	NOMBRE D'ÉCLATS				NOMBRE TOTAL D'ÉCLATS
		AU-DESSUS de 300 gr.	de 50 à 300 gr.	de 25 à 50 gr.	AU-DESSOUS de 25 gr.	
Canon de 80mm	0kg 250	5.1	18.1	6.1	9.1	38
— 90	0 320	»	27	»	8.5	35
— 95	0 340	9	27	12	54	102

L'*obus ordinaire allemand* est en acier coulé : comme longueur, il dépasse le nôtre de quelques centimètres, mais l'épaisseur de sa paroi est de 1/4 inférieure à celle de notre

obus. Ses éclats, en dehors des légères différences que nous venons de signaler, sont analogues aux éclats des obus ordinaires français.

A côté de ces obus ordinaires, citons comme s'en rapprochant beaucoup, quoique sphériques, les projectiles lancés par les mortiers lisses :

La *bombe* des mortiers français de 27 et de 32,

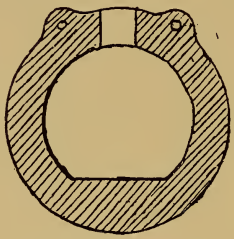


Fig. 15. — Bombe.

qui porte deux anses recevant des anneaux pour la transporter. La partie inférieure très épaisse constitue le culot (fig. 15).

L'*obus sphérique* des mortiers français de 22 et de 15 diffère de la bombe, en ce qu'il n'a ni anses, ni anneaux. Il est inutile d'insister sur la forme des éclats de ces sphères. Elle rappelle celle des éclats d'obus ordinaires, mais

avec des surfaces limitantes plus incurvées, suivant leur rayon de courbure.

Les puissances étrangères possèdent encore des projectiles de ce modèle.

2° Les *obus à grande capacité ou obus allongés*. — Simples véhicules d'une forte charge d'explosif (mélinite, roburite, ...), rarement de poudre ancienne, les obus nouveaux méritent les noms d'obus à *grande capacité*, en raison même du peu d'épaisseur de la paroi comparée au volume de la cavité intérieure ; d'*obus allongés*, parce qu'ils mesurent en longueur 4 calibres au lieu de 3, comme les anciens ; d'*obus torpilles*, grâce à leur analogie d'action avec les torpilles utilisées dans la marine.

Ces projectiles sont fabriqués avec des disques d'acier qui subissent à chaud des emboutissages successifs. Parfois, mais plus rarement, au lieu d'acier embouti, on emploie pour leur confection l'acier coulé, mais alors leur épaisseur doit être un peu plus forte. L'obus brisant allemand de 9 centimètres est en acier coulé.

Il existe deux types principaux d'obus allongés :

L'*obus à ogive vissée* (fig. 16), employé seulement à l'étranger, par exemple l'obus italien pour mortier de 22 centimètres. C'est une boîte d'acier dont le couvercle est constitué par l'ogive

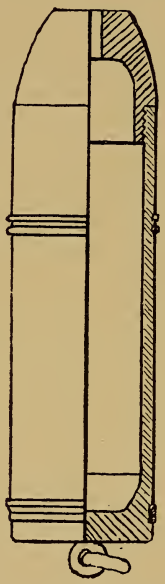


Fig. 16. — Obus à ogive vissée.

vissée. Un anneau, au culot, sert à transporter ces projectiles ;

L'*obus d'une seule pièce* ; c'est le type le plus commun des obus allongés que l'on emploie

en France. Grâce à un procédé de fabrication spécial, le tout semble formé d'une seule pièce. Ce sont les seuls obus dont la paroi ait une épaisseur rationnelle, en rapport avec les diverses pressions qu'elle doit supporter. Cette épaisseur est très variable suivant la région envisagée.

Obus torpille. — On donne plus particulièrement ce nom aux obus allongés ou de grande capacité chargés de substances explosives (fulmi-coton, acide picrique, ...). Une capsule de fulminate de mercure provoque la détonation du chargement, grâce à un système d'amorçage. De plus, il existe un *bouchon porte-retard* qui permet l'éclatement après la perforation de corps plus ou moins épais. On peut employer ces obus avec ou sans ce porte-retard. Dans le dernier cas, on a affaire à un obus fusant ou percutant ordinaire.

Le fulmi-coton est utilisé pour beaucoup d'obus-torpilles en Allemagne, en Autriche, en Italie. L'*obus allemand* de 21 centimètres appelé encore *sprenggranate*, l'*obus italien* de 15 centimètres, celui de 21 centimètres, sont tout en acier, à ogive vissée, de façon qu'on

puisse introduire aisément la masse explosive formée de la façon suivante : c'est une pile de rondelles de coton-poudre humides entourées de paraffine et renfermées dans une enveloppe métallique.

Mais on a généralement substitué, au coton-poudre l'acide picrique ou ses dérivés, corps plus stables. L'*obus brisant allemand* de 9 centimètres est chargé de cette dernière substance. Les obus français de 80, de 90, sont chargés en mélinite, laquelle est aussi un composé de l'acide picrique.

Voyons maintenant ce que sont les éclats fournis par ces projectiles :

Les plus nombreux pèsent moins de 10 grammes. Puis, viennent ceux de 10 à 100 grammes, en nombre un peu plus restreint. Enfin, au-dessus de 200 grammes, le nombre des éclats est peu élevé, ils sont représentés surtout par des fragments de culot, d'ogive, de fusée.

Ces éclats ont une forme irrégulière. Ceux qui proviennent du corps cylindrique de l'obus ont l'aspect de lames limitées par des plans parallèles à l'axe. De règle, les éclats de ces

projectiles sont plus longs que ceux des projectiles de fonte et plus étroits ; ils peuvent

Fig. 17. — Éclats d'obus en acier embouti de 80, chargé à la mélinite.

mesurer (suivant la longueur de l'obus) de 15 à 30 centimètres de longueur, sur quelques millimètres seulement de largeur. Nous

empruntons la description suivante très exacte, à notre ancien collègue le Pr Poncet (de Cluny).

« Le métal, écrit ce dernier, est coupé sur ses faces suivant un angle régulier de 45°, formant un biseau très aigu. Le gaz explosif clive les parois de l'obus de haut en bas, suivant les angles et le déchire en lanières offrant alors deux tranchants. Tous les éclats petits ou gros, et il en existe de très grands, sont clivés, biseautés, sur les longs côtés. Ce sont autant de couteaux d'acier, à double tranchant. » Nous ajouterons que ces tranchants sont hérissés eux-mêmes d'aspérités, de pointes qui les rendent bien plus dangereux encore ; un détail vulgaire suffira pour le montrer : il est extrêmement difficile d'extraire, sans dommage, des éclats d'une certaine grosseur, lorsqu'on les a introduits dans sa poche.

3° Les *obus et boulets de rupture*. — Ce sont des projectiles en acier chromé employés par l'artillerie de marine, pour traverser les cuirasses des navires, et par l'artillerie de siège, pour détruire les fortifications cuirassées.

Ils ont, comme le montre la figure 18, une ogive très épaisse de façon à vaincre aisé-

ment la résistance à la perforation. Chargés parfois en poudre noire, ils le sont plus souvent en substances explosibles.

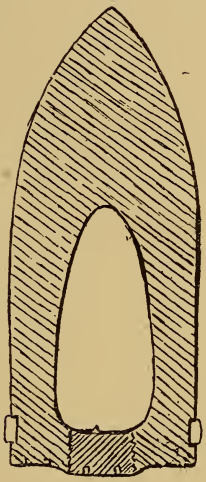


Fig. 18. — Obus de rupture.

4° Les *obus incendiaires*. — Les obus incendiaires actuels chargés à poudre noire peuvent, quoique assez difficilement, mettre le feu à des matières inflammables. Pour en augmenter la puissance, on noie parfois au sein de la charge de poudre un certain nombre de cylindres d'une composition fusante, lesquels projetés au

moment de l'explosion, brûlent pendant quelques minutes.

B. Projectiles destinés a atteindre le personnel. — Ils doivent remplir un certain nombre de conditions spéciales qui sont : *la fragmentation en une quantité assez élevée d'éclats*, ayant une *forme* qui leur permette de *ne pas perdre trop rapidement leur vitesse* dans l'air, et possédant une *force vive suffisante* pour mettre hors de combat les chevaux et surtout les hommes : enfin, il faut que les *éclats se répartissent sur le terrain d'une manière convenable*, c'est-à-dire dans un certain rayon autour du point d'éclatement.

Les obus ordinaires, anciens modèles, remplissent mal ces conditions. Leurs éclats sont très irréguliers, ou trop gros, ou trop petits. Le culot reste presque toujours entier, de même que l'ogive. Aussi s'est-on préoccupé d'assurer leur fragmentation par les procédés suivants :

1° *Obus à fragmentation systématique.* — Il en est de deux sortes :

a) Les *obus à double paroi*, formés d'un manchon interne, autour duquel le reste de l'obus a été coulé. On a préparé à l'intérieur de la

double paroi des lignes de rupture disposées sur la surface intermédiaire.

Dans l'*obus français à double paroi de 95* (fig. 19), il existe à la surface externe du manchon, 30 pyramides s'engrenant dans un système analogue sur la face interne de la paroi

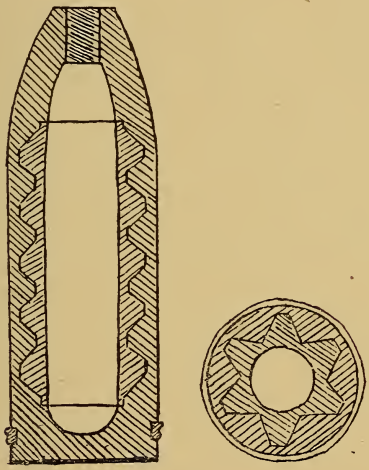


Fig. 19. — Obus à double paroi de 95.

superficielle de l'obus. Grâce à cette disposition, la fragmentation s'opère généralement suivant les lignes de rupture tracées à l'avance et les projectiles secondaires au nombre d'une soixantaine, au moins, offrent l'aspect de py-

ramides plus ou moins irrégulières. Malgré ces précautions, il arrive souvent que les lignes transversales n'assurent pas la fragmentation et les éclats ont une tendance à affecter une forme allongée. Quoi qu'il en soit, même dans ce cas, les fragments sont toujours moins longs que lorsqu'il s'agit d'éclats d'obus ordinaires, par suite leur poids est moindre, en général, ainsi que le montre le tableau suivant :

ÉCLATS DES OBUS A DOUBLE PAROI FRANÇAIS
de 5 et de 7.

OBUS	POIDS DE LA CHARGE intérieure	NOMBRE D'ÉCLATS				NOMBRE TOTAL D'ÉCLATS
		AU-DESSUS de 300 gr.	de 50 à 200 gr.	de 25 à 30 gr.	AU-DESSOUS de 25 gr.	
A double paroi de 5. . . .	0 kg 260	1	23	21	21.5	66
A double paroi de 7. . . .	0 350	51	27.5	21.5	21	71

Les projectiles de ce type ne sont plus guère usités aujourd'hui. On leur préfère les suivants où la fragmentation est mieux assurée.

b) Les lignes de moindre résistance trans-

versales sont tracées sur la surface interne, les lignes axiales étant sur la surface intermédiaire, qui peut être prismatique ou crénelée.

Les *obus à anneaux* ou *obus Uchatius* em-

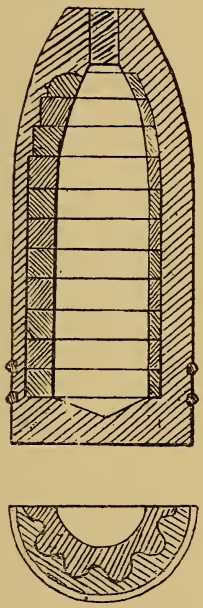


Fig. 20. — Obus à anneaux.

ployés en Autriche, Italie, Russie, Suisse, sont une application de ce type. Le manchon interne est formé d'une série d'anneaux empilés les uns sur les autres, la surface intermé-

diaire présente sur les deux faces un dessin crénelé (fig. 20).

Le fond de l'obus offre des entailles radiées

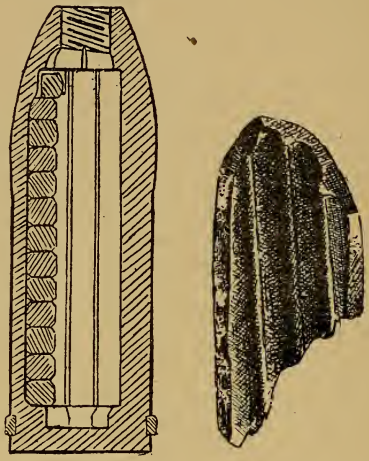


Fig. 21. — Obus à anneaux de 90 et un de ses éclats.

préparant la fragmentation du culot en pyramides. Ici, la segmentation est plus sûre qu'avec les projectiles précédents.

Notre artillerie tire des obus à anneaux avec les pièces de 80, de 90, de 95.

L'*obus à anneaux de 90*, modèle 1879 (fig. 21), a un manchon intérieur composé de couronnes de fonte d'une seule pièce, formées

de balles réunies entre elles, couronnes empilées les unes sur les autres, grâce aux méplats supérieur et inférieur que présentent les balles. Le corps du projectile est coulé tout autour.

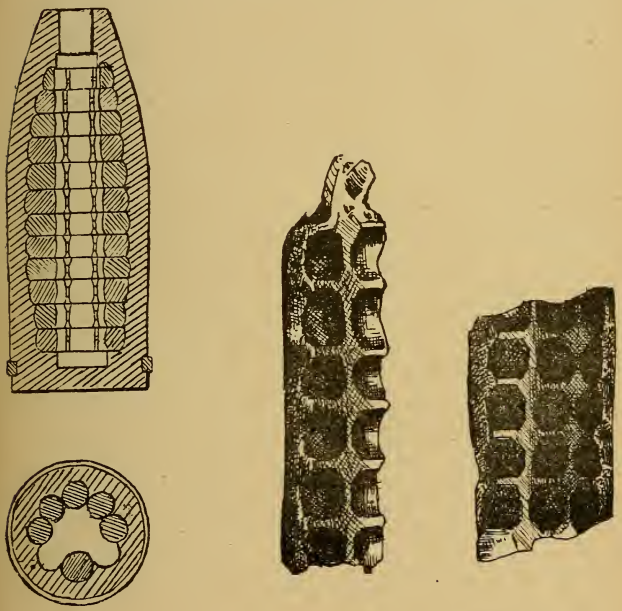


Fig. 22. — Obus à balles du canon de 95 et deux de ses éclats.

Après avoir passé par cette série d'intermédiaires : fragmentation en pyramides, en corps ronds (fig. 22), on devait fatalement en arriver

à un mode de fragmentation plus parfait et préparé à l'avance sous forme de balles véritables isolées les unes des autres. C'est ce qui a été réalisé par l'adoption des obus à balles.

2° *Obus à balles.* — Les obus que l'on appelle en France *obus à balles* sont connus généralement à l'étranger sous le nom de *Schrapnels,* du nom du colonel anglais qui les a établis.

Ils diffèrent entre eux par la place qu'occupe la charge d'éclatement, ce qui fait varier le mode de dispersion des balles. La charge peut être :

Dans l'axe de l'obus (obus à tube) ;

Dans l'ogive (charge avant) ;

Dans le culot (charge arrière) :

Enfin, mélangée aux balles (charge mélangée).

Étudions ces divers types

α) *Charge dans l'axe du tube* (schrapnels à tube). — L'*obus français à balles libres de 95* est en fonte. Sa portion interne est formée de 8 colonnes contenant chacune 13 balles en fer forgé munies de méplats, de façon à faciliter l'empilement de ces balles les unes sur les autres. Le diamètre de ces petits

projectiles est de deux centimètres. La charge d'éclatement est dans un tube central.

L'*obus allemand de 88 millimètres* (fig. 23), modèle 1871. a un manteau d'acier embouti peu épais (2 millimètres environ), vissé sur un

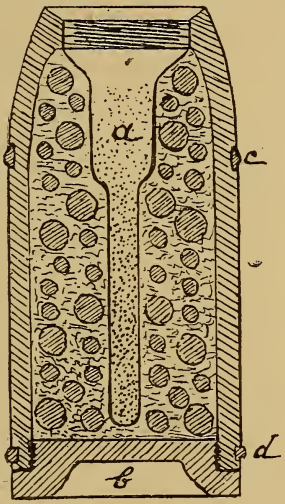


Fig. 23. — Obus allemand de 88 millimètres.
L'obus porte deux ceintures de cuivre (*c*) et (*d*).

culot de fonte évidé (*b*). Il contient 279 balles en plomb durci de 11gr,10 chacune. — Les interstices des balles sont remplis de substance fumigène, destinée à faciliter l'observation du tir.

La charge d'explosif contenue dans un tube

central (*a*) a pour but principal de déchirer l'enveloppe ; cependant, elle accélère un peu le mouvement des balles et des débris du projectile éclaté. Au total, celui-ci fournit environ 300 projectiles secondaires, mais parmi ceux-ci les débris de l'enveloppe auraient des effets presque insignifiants par rapport à ceux des balles.

L'*obus allemand de 77 millimètres*, modèle 1896, du nouveau canon de campagne à tir rapide, offre une constitution analogue. Il renferme 300 balles de $10^{gr},60$ chacune.

β) *Charge avant.* — Ces obus, nous le verrons ultérieurement, ont un inconvénient, c'est que la vitesse communiquée aux balles par la charge d'éclatement diminue la vitesse restante que ces balles possèdent au moment de l'éclatement.

Les *bouches à feu de 5, de 7, du système Reffye* tirent des obus à balles de ce modèle.

L'*obus de la pièce de 7* représenté par la figure 24 contient 58 balles formées d'un alliage de plomb et d'antimoine, du diamètre de $16^{mm},7$, et du poids de 26 grammes.

L'*obus de la pièce de 5* renferme 65 balles du poids de $19^{gr},23$ et du diamètre de 14 millimètres.

Mais, ces obus eux-mêmes sont actuellement démodés ; leur enveloppe n'est-elle pas, en effet, un véritable poids mort ? Il était tout indiqué de diminuer cette masse peu utile en la réduisant à une mince tôle d'acier emboutie,

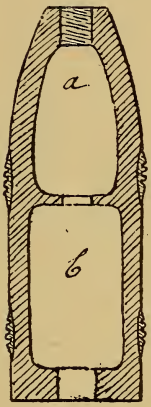


Fig. 24. — Obus à balles de 7. — *a*, chambre à poudre. *b*, chambre à balles.

et l'on est arrivé à l'adoption des obus à mitraille.

Obus à mitraille. — L'*obus à mitraille français de 90* pèse $8^{kgr},685$. Il comprend :

Une enveloppe en tôle d'acier beaucoup plus mince que celle du schrapnel : elle ne mesure qu'un millimètre ;

Une grenade (en fonte ou acier) placée dans l'ogive et contenant la poudre d'éclatement ;

Un culot en acier coulé évidé en dessous, portant à sa face supérieure des alvéoles hémisphériques ;

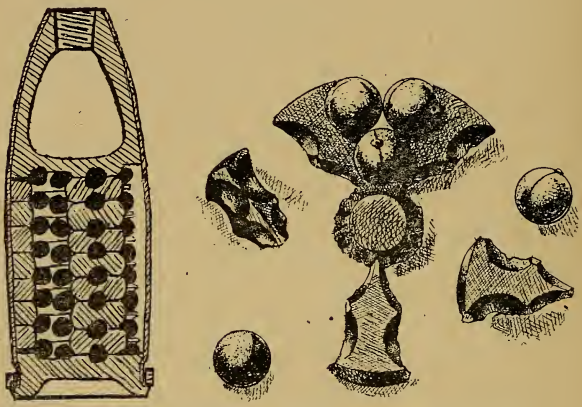


Fig. 25. — Obus à mitraille de 90. — Éclats et balles.

7 galettes de fonte empilées les unes sur les autres présentant sur leurs deux faces des alvéoles hémisphériques, qui se correspondent et servent à loger des balles de plomb, du diamètre de 14 millimètres et du poids de $14^{gr},50$.

L'enveloppe est réunie au culot par une ceinture de cuivre très solidement sertie. Les

alvéoles des galettes préparent leur segmentation en morceaux réguliers. Si bien que lorsque la grenade éclate, elle ouvre l'enveloppe de tôle et met en liberté les balles et fragments de galettes. Le culot reste entier. Du charbon de bois en poudre remplit les espaces vides du chargement. Il est destiné à former un nuage utile pour découvrir le point d'éclatement.

Lorsque cet obus éclate, il se décompose environ en 245 projectiles secondaires, savoir :

1° La *feuille d'enveloppe* en tôle d'acier, qui se déchire et d'ordinaire reste entière affectant une forme enroulée plus ou moins bizarre ;

2° La *ceinture en cuivre rouge*, du poids de 100 grammes, laquelle peut rester fixée au culot, ou bien se détacher et s'ouvrir en une bande tordue ;

3° Le *culot* en acier, généralement intact et pesant 800 grammes. Parfois, une partie de la portion cylindrique avoisinant le culot demeure fixée à ce dernier et le tout contenant une certaine quantité de balles agglomérées forme ce qu'on appelle le *pots de fleurs* ;

4° La *fusée*, qui ne se brise pas et constitue un fragment cylindrique, du poids de 430 gram-

mes, mesurant 9 centimètres de long sur un diamètre de 4 centimètres ;

5° Quatre ou cinq éclats fournis par la *grenade*, laquelle pèse $1^{kgr},500$ environ ;

6° Les *fragments des 7 rondelles de fonte*, au nombre de 11 par rondelle, au total 77 éclats assez uniformes mesurant comme épaisseur 2 centimètres et pesant 27 grammes ;

7° Enfin, les *160 balles*, du calibre de 14 millimètres et du poids de $14^{gr},50$.

Le tableau suivant résume les principales données relatives aux obus à mitraille français.

	BOUCHES A FEU DE								
	65	80	90	95	100	120	140	155	160
Epaisseur de l'enveloppe de tôle..	$1^{cm}5$	$2^{cm}3$	$2^{cm}3$	$2^{cm}7$	$2^{cm}75$	$3^{cm}25$	$3^{cm}5$	$3^{cm}5$	4^{cm}
Nombre de rondelles.	6	7	7	9	14	9	11	12	11
Nombre de fragments d'une rondelle.	7	6	11	10	12-11	15	15-14	17	20
Poids d'une balle..	$14^{gr}5$	$14^{gr}3$	$14^{gr}5$	22^{gr}	22^{gr}	20^{gr}	25^{gr}	25^{gr}	30^{gr}
Nombre total de balles.	63	120	160	160	228	280	336	352	541

Le *schrapnel anglais de 76^{mm},2* est formé d'une enveloppe d'acier assez mince (5^{mm},1) avec ogive et culot épais, contenant 177 balles de 13 grammes chacune, à interstices remplis de résine.

γ) *Obus à charge arrière.* — C'est le modèle le plus commun des obus à mitraille étrangers. Cet obus peut être considéré comme une véritable petite bouche à feu transportée à quelques mètres en avant de l'ennemi et lançant une gerbe de mitraille. Il présente une supériorité incontestable, à ce point de vue particulier, sur les obus à charge avant.

En France, quelques obus sont établis d'après ce type, par exemple l'*obus à balles modèle 1891, du canon de 120 court* (fig. 26).

Le corps de l'obus est en acier embouti.

Deux diaphragmes l'un supérieur, l'autre inférieur délimitent une chambre intermédiaire, la chambre à balles (*b*), traversée par un tube faisant communiquer la chambre postérieure (*c*), qui contient la charge d'éclatement, avec la chambre antérieure de l'ogive (*a*), laquelle est vide et reçoit seulement la fusée.

Le projectile contient 630 balles de plomb durci à 10 pour 100 d'antimoine, du poids de

12 grammes et du diamètre de 12^{m},8. Les interstices sont remplis de cire et de résine.

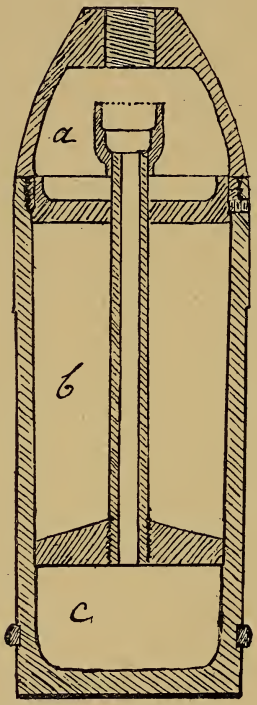


Fig. 26. — Obus à balles modèle 1891, du canon de 120 court.

Ces obus sont très employés à l'étranger. Dans les obus anciens, comme les *obus de campagne russes de 10,7, de 8,7 (modèle 1879),*

le corps de l'obus est en fonte et présente une forme particulière. La chambre à balles est pourvue sur sa face interne de nervures hélicoïdales destinées à entraîner les balles dans le mouvement de rotation du projectile et à diminuer leur pression contre le diaphragme. Mais, dans tous les obus récents, l'enveloppe est en tôle d'acier.

Nous n'insisterons pas davantage. Tous les projectiles ressemblent de très près à l'obus français que nous venons d'étudier. Un tableau d'ensemble suffira pour faire saisir les légères différences qui les séparent les uns des autres.

SCHRAPNELS ET OBUS A MITRAILLE DE CAMPAGNE
dans les principales armées

PUISSANCE	MODÈLE	DÉNOMINATION	CALIBRE	POIDS	ENVELOPPE	NOMBRE DES BALLES	POIDS D'UNE BALLE
France. . .	1885	Obus	80mm	6kg280	Tôle	162	15gr
	1883	à	90	8 685	d'acier	237	15
	1886	mitraille	95	12 300		250	20
Allemagne.	1882		88	8 15	Fer	262	13
	1882	Schrapnel	78 5	5 60	Fer	167	13
	1891		88	2	Acier	»	11
Angleterre.	»	Schrapnel	76	5 67	Acier	177	13
	»		76	6 80	Acier	252	11
Autriche. .	1875		87	7 16	Fer	165	13 1
	»	Schrapnel	75	4 8	»	105	13 1
	1891		87	6 5	»	154	10
Italie. . . .	1871	Schrapnel	87	6 7	Fer	177	16 3
	1874		75	4 2	»	103	16 3
Russie. . .	1877		10 7	12 5	Fonte	315	11
	»	Schrapnel	8 7	7	Acier	200	11
	1877		8 7	6 85	Fonte	167	11

δ) *Obus à charge mélangée.* — Les obus précédents tendent à être abandonnés de nos jours pour les obus où la charge d'éclatement est mélangée aux balles (obus Robin). Il y a, à l'emploi de ce système, plusieurs avantages, dont le principal est la dispersion plus rationnelle et la vitesse plus grande des balles, au moment de l'éclatement.

Comme les obus à charge mélangée sont créés depuis peu de temps, nous ne pouvons donner d'eux aucune description exacte. Qu'il nous suffise de savoir qu'ils offrent une constitution analogue à celle des obus à balles en général, avec cette différence que les balles sont plongées au sein de la poudre qui remplit le corps de l'obus. La température de ces balles, au moment où le projectile éclate, serait de beaucoup supérieure à celle des balles des divers obus à charge isolée.

BOITE A MITRAILLE

Il est des circonstances de guerre où la proximité de l'ennemi (en deçà de 600 mètres) empêche le tir efficace avec les obus. On emploie alors la *boîte à mitraille*.

Celle-ci se compose (fig. 27) d'un corps cylindrique en zinc *b* muni, à sa base, de franges rabattues dans un culot de fonte et fermé à son

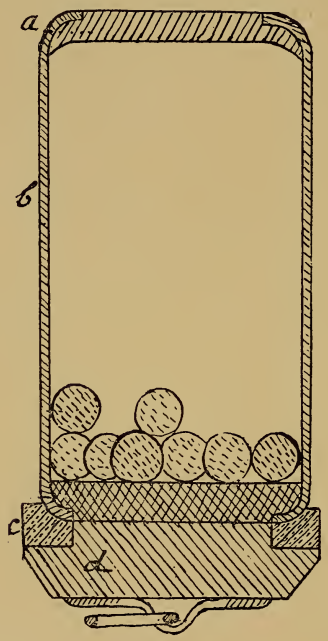


Fig. 27. — Boîte à mitraille.

extrémité antérieure par un couvercle *a* également en zinc. Au culot est rivée, par des vis, la *rondelle arrêtoir* en bois *d*, pourvue d'une ceinture de cuivre *c* et d'une poignée.

L'intérieur du projectile est garni de balles de plomb réunies par du soufre. On en compte 220 (Italie), 120 (Autriche), 102 et 171 (Russie). Les balles de ces boîtes pèsent beaucoup plus que celles des obus, ce qui favorise les rico-

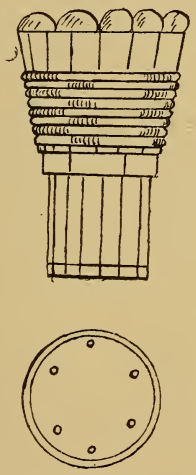


Fig. 28 — Appareil Moisson.
(Avec la coupe du fond du demi-baril.)

chets. Les 76 balles de la boîte à mitraille allemande sont du poids de 69 grammes. Les balles des boîtes françaises de 80 (au nombre de 85), de 90 (au nombre de 123), de 95, de 120, pèsent 44 grammes. Celles des boîtes

de 27 centimètres utilisées par la marine pour couler les torpilleurs pèsent jusqu'à $2^{kgr},540$.

Avec les canons à tir rapide, la boîte à mitraille perd de son importance et l'Allemagne paraît l'avoir abandonnée.

Mitraille des mortiers lisses. — Les quelques mortiers lisses encore usités lancent, outre des boîtes à balles et à boulets analogues aux boîtes à mitraille, outre les bombes sphériques plus haut mentionnées, un appareil à grenades et à obus, appelé *appareil Moisson*. Cet appareil se compose (fig. 28) d'un demi-baril à fond doublé par un plateau en bois. A ce plateau est fixée une masse prismatique que l'on engage dans l'âme du mortier. Le fond du plateau est percé de trous destinés à permettre aux gaz de communiquer le feu aux projectiles (grenades ou obus) placés dans le baril, l'œil en dessous.

PETITS PROJECTILES

L'artillerie utilise, nous le savons, outre les obus, quelques petits projectiles. Ceux que lancent les *mitrailleuses* sont les balles tirées par l'infanterie.

Quant au *canon à balles*, il est pourvu de projectiles spéciaux un peu plus gros. Le canon à balles français est chargé de cartouches pesant 72 grammes et contenant des balles multiples : c'est un système de 3 balles affectant chacune la forme d'une calotte et emboîtées successivement l'une dans l'autre; elles sont réunies l'une à l'autre par une sorte de ficelage de laiton en croix.

Enfin, les projectiles des *canons-revolvers* sont de véritables petits obus à mitraille, dont les balles en nombre variable sont analogues aux balles des autres obus des calibres les moins forts. C'est ainsi que le projectile français contient 34 balles de plomb durci, pesant chacune 32 grammes.

§ 3. — Propriétés physiques des projectiles d'artillerie.

Cette longue description des projectiles en usage dans les principales armées nous permet, placés maintenant à un point de vue plus général, de dégager les qualités physiques principales inhérentes à ces projectiles. Mais ici, une distinction est nécessaire suivant que nous

considérons le projectile *avant* ou *après son éclatement*. Bien que, dans le premier cas, les renseignements relatifs à la *forme*, la *longueur*, le *calibre*, le *poids* et la *constitution*, soient d'importance secondaire, puisque c'est surtout sous forme d'*éclats* que le projectile est appelé à agir, il n'est pas inutile pourtant de s'arrêter quelques instants à ces premières données, qui ont des rapports assez étroits avec les données correspondantes relatives aux projectiles secondaires issus de l'éclatement.

A. Propriétés physiques des obus avant l'éclatement. — 1° *Forme*. — Quelque peu variable, ainsi qu'il ressort de la lecture des pages précédentes, la forme générale des projectiles d'artillerie peut être ramenée au type cylindro-ogival ; elle est analogue à celle des balles de fusil, — fait normal ; les mêmes lois régissant la course dans l'air des obus et des balles, il était naturel de favoriser leur progression par les mêmes procédés. L'expérience, du reste, a démontré qu'il était avantageux de terminer par une pointe très effilée les projectiles qui doivent être tirés avec une grande vitesse. Ainsi, les obus français modèle 1877, qui jouissent

de propriétés balistiques remarquables, se terminent à l'avant par une ogive dont la hauteur est égale à une fois et demie le calibre, c'est-à-dire à la demi-longueur du projectile. Les projectiles tirés avec une faible vitesse sont, en général, terminés par une pointe moins aiguë.

L'extrémité antérieure de l'ogive est coupée pour la mise en place de la fusée. — Le corps cylindrique est garni extérieurement d'une ou plusieurs ceintures métalliques destinées à forcer le projectile dans le pas des rayures.

2° *Calibre.* — Très élevé dans les grosses pièces de marine où il peut atteindre 45 centimètres, le calibre des obus dans les pièces de siège varie généralement entre 12 et 22 centimètres (canons de 120, de 220). Dans les pièces de campagne, il est de 80 à 90 millimètres. Les nouveaux canons à tir rapide lancent des projectiles de calibre inférieur : 75 millimètres (France), 77 millimètres (Allemagne). Enfin, il se réduit encore notablement dans les canons à balles, les canons-revolvers et les mitrailleuses. Ces dernières, nous l'avons vu, tirent la balle d'infanterie.

3° *Longueur.* — Tandis que les obus anciens

présentaient une longueur triple de leur calibre, les obus actuels sont plus allongés. L'obus français de 80 mesure 24 centimètres et l'obus long du mortier de 220 en compte 61. Ce sont, en particulier, les projectiles à mélinite qui ont été allongés, de manière à augmenter leur capacité. On tire des obus de 4 calibres et demi.

4° *Poids.* — Le poids de l'obus avant l'explosion n'offre d'autre intérêt que de renseigner sur le poids total des projectiles secondaires, agents des traumatismes, ou sur la charge d'explosif qu'il renferme.

Actuellement, les schrapnels et les obus à mitraille de campagne pèsent de 6 à 12 kilogrammes, tandis que le poids des mêmes projectiles destinés à la guerre de siège atteint 150 kilogrammes, poids bien infime si on le compare à celui des obus de marine. Le projectile du canon Armstrong de 43 centimètres pèse 1,000 kilogrammes et demande une charge de 375 kilogrammes de poudre. Krupp a fourni à la marine des projectiles de 1,140 kilogrammes réclamant une charge de poudre de 410 kilogrammes et 16 hommes pour charger la bouche à feu.

Par contre, les projectiles des canons à tir rapide ont un poids bien inférieur à celui des projectiles de campagne actuels, il oscille de 2 à 3 kilogrammes. Dans le canon à tir rapide de 50 millimètres, il tombe à $1^{kgr},600$, se rapprochant du poids $0^{kgr},440$ de l'obus lancé par le canon-revolver Hotchkiss.

5° *Constitution. — Enveloppe.* — La fonte constitue encore l'enveloppe des bombes sphériques, des obus à fragmentation systématique, des obus à anneaux, en un mot de tout l'ancien matériel. Actuellement, toutefois, l'acier lui a été substitué dans les projectiles destinés à détruire les obstacles, principalement les obus allongés chargés en explosif; l'enveloppe est faite de plaques d'acier embouti appliquées les unes sur les autres. — En Allemagne, on emploie également l'acier coulé, particulièrement pour remplacer les anciens obus en fonte du modèle Uchatius.

Quant aux obus à mitraille, leur enveloppe assez mince est en tôle d'acier, d'environ 1 à 3 millimètres d'épaisseur.

Contenu. — Les obus destinés aux obstacles matériels contiennent seulement une charge

de poudre ou d'explosif; les autres, destinés au personnel, dans les anciens modèles sont munis à l'intérieur d'une double enveloppe et de systèmes de galettes de fonte plus ou moins fragmentées d'avance.

Ces types sont aujourd'hui presque universellement abandonnés et remplacés par les obus à mitraille et les schrapnels, dans lesquels la chambre intérieure est garnie de balles mélangées dans certains cas à de la cire, de la résine, dans d'autres cas à la charge d'éclatement.

B. Propriétés physiques des obus après l'éclatement. — Autrefois, les éclats de l'obus lui-même avaient une importance primordiale au point de vue chirurgical. C'est d'eux, en effet, que l'on attendait les lésions qui devaient mettre hors de combat les hommes et les chevaux. L'époque vint ensuite, assez rapprochée de nous, où l'on remplit les obus anciens avec des balles destinées à agir au même titre que les éclats. Enfin, de nos jours, les obus tirés contre le personnel, c'est-à-dire chargés à balles, sont constitués par une enveloppe de tôle d'acier très peu épaisse, tout juste suffisante

pour maintenir les balles pendant la progression du projectile jusqu'au moment de l'éclatement. Le rôle vulnérant des éclats s'efface devant celui des balles.

Les obus chargés de poudres explosives fournissent eux aussi des éclats qui offrent quelque intérêt au point de vue chirurgical, car tout comme les corps mis en mouvement par l'explosion de l'obus, ils peuvent atteindre les défenseurs de l'ouvrage bombardé.

Comme ces projectiles de types différents, anciens et nouveaux, sont encore en usage, nous devons, tout en signalant l'importance relative que revêtent certains d'entre eux, procéder à une description générale de leurs projectiles secondaires, éclats et balles.

Éclats d'obus. — Si nous laissons de côté le culot, la pointe de l'ogive, la grenade, la fusée, qui généralement ne se fragmentent pas, nous avons vu que lorsque la fonte constitue le projectile, les éclats offrent des formes allongées dans le sens axial, courbes dans le sens transversal, d'une épaisseur plus ou moins grande, pouvant varier de 1 à 3 centimètres et même davantage. Leur longueur peut atteindre pres-

que la hauteur de l'obus, moins quelques centimètres relevant du culot ou de l'ogive.

Le poids varie également avec le poids de l'obus, l'épaisseur de la paroi, etc. Il n'est pas exceptionnel de trouver des éclats pesant plus d'un kilogramme. En moyenne, il faut le reconnaître, le poids est compris entre 100 et 300 grammes.

A côté de ces grands éclats, il en est de petits, comme des noix, de forme carrée ou pyramidale, ou arrondis mais à bords échancrés, suivant qu'ils proviennent de la paroi ou des galettes de fonte intérieures.

Les éclats des obus à mitraille sont constitués par le culot, la grenade, la fusée et l'enveloppe (de fer, d'acier ou de tôle d'acier). Celle-ci s'ouvre et se déchire pour laisser échapper les balles, mais, restant généralement en un seul morceau, elle tombe par son propre poids aussitôt après l'éclatement. Elle nous intéresse donc peu.

Enfin, les obus chargés aux substances explosibles donnent, ainsi que nous l'avons déjà dit à propos des obus à mélinite des éclats allongés, tranchants, hérissés d'aspérités et

d'irrégularités. Ils sont ordinairement en acier, parfois longs comme l'obus lui-même, et plus ou moins larges (de quelques millimètres à quelques centimètres). Ils se présentent sous forme d'éclats coupants, rappelant des fragments de lame de couteau à double tranchant que l'on aurait cassée en morceaux. Ils peuvent même être très fins, à peine de la dimension des pois ; enfin, une partie — la plus faible — du projectile d'acier se volatilise en poussière.

L'épaisseur des éclats de ce genre, comme leur poids, varie évidemment avec les modèles des puissances. D'habitude, l'épaisseur de la paroi des obus explosifs ne dépasse pas 1^{cm} à 1^{cm} et demi.

En raison de l'irrégularité de leur forme, ces éclats perdent rapidement leur vitesse. Ils doivent, pour produire des blessures suffisantes, posséder un volume assez grand. Aussi, l'on admet que seuls sont utiles ceux dont le poids est au moins le double du poids des balles contenues dans les obus.

Balles d'obus. — Ces balles sont toujours sphériques. Leur diamètre est, en général, de

15 à 20 millimètres. Celles des obus de campagne pèsent de 10 à 20 grammes. Mais actuellement, on tend à réduire leur volume de plus en plus, de façon à augmenter le nombre des facteurs vulnérants. Il est toutefois un poids minimum que l'on ne saurait dépasser sans inconvénient, poids à partir duquel la masse du projectile se trouve trop faible pour assurer la force de pénétration nécessaire pour mettre hors de combat hommes et chevaux. D'après des expériences récentes, ce poids minimum serait de 11 grammes. Aussi, est-ce autour de ce chiffre qu'oscillent les poids des balles de la plupart des obus actuels de campagne. L'Autriche, cependant, pour son schrapnel de 1891, l'Allemagne pour le schrapnel de son canon à tir rapide de 77 millimètres, ont adopté des poids légèrement inférieurs à cette moyenne : la balle autrichienne pèse 10 grammes, la balle allemande 10^{gr} 60.

Comme la constitution des balles est la même, ou à peu près la même chez les diverses puissances, on en pourrait conclure que pour un projectile de calibre donné, plus le poids de chaque balle est faible, plus la chambre ren-

ferme de balles. Ceci n'est pas tout à fait exact, car la structure du projectile, la disposition de sa charge d'éclatement, l'épaisseur de ses parois, enfin sa longueur font varier notablement le nombre des balles qu'il contient.

Pour les schrapnels de calibre élevé, de 87 à 90, on en compte plus de 200 (schrapnel français de 90, allemand de 88, russe de 7); dans d'autres obus, leur nombre varie entre 150 et 180.

Pour les schrapnels de calibre faible, de 75 à 78 millimètres, la quantité de balles par projectile, quoique variable, est de 300, en moyenne.

§ 4. — Qualités dynamiques et zones d'action des obus à mitraille et à balles et de leurs projectiles secondaires.

La *vitesse* de l'obus au sortir du canon est notablement inférieure à celle de la balle ; chez nous, le canon de 80 lance un obus dont la vitesse initiale n'est que de 490 mètres et celle de l'obus de 90 atteint seulement 455 mètres.

Mais, les gros projectiles conservent mieux

que les petits leur mouvement de propulsion, et, aux diverses distances, les obus précédemment signalés possèdent des vitesses restantes qui sont, comme l'indique le tableau suivant :

A	1.000 mèt.	1.500	2.000	2.500	3.000	7.000
de	360 mèt.	325	300	280	265	230
	350 —	320	300	285	270	230

La marche des obus est, du reste, fort rapide et l'on peut citer tel obus qui parcourt 20 kilomètres en 70 secondes. Il est vrai que la *portée* maximum des canons ne dépasse pas, en général, de 3 à 7 kilomètres pour les pièces de campagne ; pour les canons de siège, par contre, elle s'élève à plus de 10 kilomètres, à 15 kilomètres pour les canons de côtes.

Il va sans dire que la *trajectoire* des obus, comme celle des balles, n'est pas une ligne droite. Très tendue jusqu'à 500 mètres, au point de rencontrer un homme debout, au delà elle se relève et aux diverses distances la flèche maxima de la trajectoire devient :

	POUR LE TIR A					
	1.000 m.	1.500 m.	2.000 m.	2.500 m.	3.000 m.	7.000 m.
Canon de 80	7m	17m00	34m	59m	96m	1.105m
Canon de 90	8 50	19 50	38	65	100	1.050

La courbe décrite par la trajectoire peut être encore bien plus prononcée, puisqu'il est établi qu'un projectile de 215 kilogrammes tiré sous un angle de 44° s'élèverait à 6,540 mètres et pourrait ainsi passer par-dessus le Mont-Blanc.

L'obus avant son éclatement, l'obus intact, offre peu d'intérêt en tant qu'agent de blessures. Il est exceptionnel, en effet, qu'il atteigne les troupes avant d'avoir éclaté. Son rôle réellement actif ne commence qu'après sa subdivision en projectiles secondaires, dont il convient maintenant, pour en soupçonner la valeur vulnérante, d'étudier la trajectoire et la vitesse (nous en connaissons la masse, c'est-à-dire le poids et la forme).

Il a été dit plus haut qu'il existe des obus à fusée percutante et des obus à fusée fusante. L'artillerie utilise l'obus percutant pour régler

son tir par l'observation relative du but et des points de chute de projectiles tirés à des distances connues. C'est le système de réglage dit « *à la fourchette* », caractérisé par un obus tiré long (au delà de l'obstacle), un second tiré court (en deçà de l'obstacle), et un troisième intermédiaire qui doit arriver sur le but.

Jusqu'à une distance de 1,500 mètres, l'obus percutant présente sur l'obus fusant l'avantage d'être d'un emploi plus rapide, puisqu'il ne nécessite aucune préparation de la fusée. Il mérite encore d'être mis en parallèle avec les boîtes à mitraille jusqu'à 600 mètres. En règle générale, dès que le tir est réglé pour une distance supérieure à 1,500 mètres, l'artillerie adopte le tir fusant.

De même que le mode d'emploi des fusées diffère suivant certaines circonstances, de même le mode d'action des obus varie avec la fusée employée : obus percutant et obus fusant. — Plus importante encore est la nature de l'explosif contenu dans l'obus, ainsi que le fera ressortir la description du mode d'éclatement des obus allongés remplis de mélinite, de fulmicoton, etc.

A. Obus percutant. — Lorsqu'un obus armé d'une fusée percutante heurte le sol, sous un angle assez aigu, il y trace un sillon, se relève, puis éclate après un trajet très court (de quelques mètres dans le tir à 1,000 mètres) trajet ascendant pendant lequel l'obus se relève rarement à plus de 40 centimètres au-dessus du plan frappé. Dans les longues portées, quand l'angle de chute est assez grand pour qu'il n'y ait plus ricochet, l'obus éclate dans le trou qu'il a creusé et la plupart des projectiles secondaires restent dans l'entonnoir ; l'obus a fait *fougasse*.

Un sol ferme et à peu près horizontal ou légèrement incliné vers l'arrière favorise l'éclatement de l'obus, dont un sol mou, une pente ascendante vers le but, réduisent l'action.

L'éclatement a eu lieu en l'air, en général très près du sol et, obéissant au double mouvement de propulsion et de rotation qui animait l'obus, les débris de ce dernier continuent leur course suivant des trajectoires qui s'écartent plus ou moins de celles suivies par l'obus après son ricochet ; mais dans leur ensemble, elles engendrent un cône, une *gerbe* plus ou moins

étalée. Ces trajectoires finissent par rencontrer le sol. Comme l'indique la figure 29, certains projectiles secondaires sont lancés à terre, plus ou moins près du point d'éclatement. D'autres, projetés plus haut en l'air, subissent davantage l'action de la pesanteur et, après un trajet plus ou moins long, pendant lequel ils ont perdu

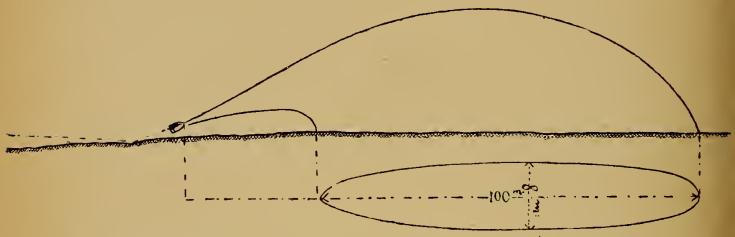


Fig. 29. — Forme et étendue schématiques de la gerbe d'éclatement de l'obus percutant.

plus ou moins leur vitesse, ils tombent sur le sol sous un grand angle, mais sans grande force.

La surface du terrain que battent les projectiles, autrement dit l'ensemble de leurs points de chute, revêt la forme d'une *ellipse* étroite allongée à laquelle on peut attribuer schématiquement un petit diamètre de 8 mètres sur 100 mètres de profondeur. Mais, en réalité, la *zone dangereuse* pour un homme debout ou

même à genoux, se prolonge en pointe jusque sous la verticale du point d'éclatement de l'obus, puisque ce point est rarement plus élevé que 40 centimètres.

Les projectiles secondaires blessent avant d'arriver à terre ; tous, du reste, ne possèdent pas la même puissance, parce qu'ils n'ont ni la même *masse*, ni la même *forme* et aussi parce que la longueur de leur trajectoire, par suite leur *mouvement* varie beaucoup. Leur vitesse initiale est égale à la vitesse restante de l'obus après son ricochet, lequel a considérablement réduit d'ailleurs le mouvement du projectile. Les uns obliquent rapidement vers le sol, se ralentissant relativement peu avant d'y arriver et, dans leur trajet, peuvent causer des blessures sérieuses. D'autres sont projetés en haut et en avant, ils vont aussi loin que leur permet leur mouvement de propulsion sans cesse ralenti par la résistance de l'air et l'action de la pesanteur, à laquelle finalement ils obéissent pour tomber sur le sol. Parmi ces derniers, ceux dont les points de chute sont à l'extrémité avant de l'ellipse n'ont qu'une faible puissance vulnérante ; c'est à ces projectiles tombant

presque verticalement par leur seul propre poids que l'on attribua en 1870, devant Metz, un grand nombre de contusions pour la plupart sans gravité.

A mesure que la *portée* du tir augmente, la diminution de sa justesse et de la vitesse restante des obus réduisent, comme dans le tir fusant, les effets du tir percutant. Mais, un troisième facteur, l'*angle de chute*, ajoute son influence prépondérante à celle des deux autres. A mesure que la portée s'accroît, cet angle de chute augmente, ce qui produit un double effet : réduction plus forte de la vitesse qui peut être annulée, augmentation de l'angle de ricochet qui rend la gerbe plus ascendante et, par conséquent, moins efficace (fig. 30). Il en résulte que les effets du tir percutant diminuent très rapidement quand la portée augmente, ce qui ne se présente pas au même degré dans le tir fusant.

Les résultats obtenus dans les tirs percutants exécutés avec les obus à mitraille contre du personnel découvert montrent que ces projectiles ont une grande efficacité jusqu'à 1,500 mètres. Et ce tir peut être employé, à partir de 1,800

mètres, contre un objectif qui s'approche. Encore appréciables à 2,000 mètres, les effets du tir percutant de l'obus à mitraille deviennent faibles à 2,500 mètres et presque insignifiants au delà.

Par contre, à courte portée, l'obus percutant

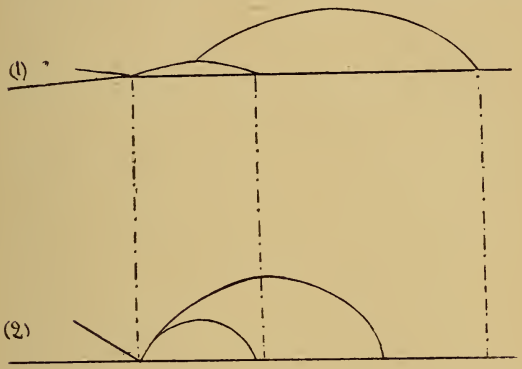


Fig. 30. — Gerbe de l'obus percutant tiré (1) à courte distance, (2) à grande distance.

à mitraille tiré de manière à frapper le sol à une vingtaine de mètres en avant de la pièce peut être substitué à la boîte à mitraille. Celle-ci, il est vrai, jusqu'à une distance de 600 mètres, surtout quand le sol est favorable aux ricochets, possède une action vulnérante plus efficace.

En résumé, le tir percutant utilise mal l'emploi du métal lancé sur l'ennemi.

1° Une partie des projectiles fait fougasse et demeure sans effet;

2° Pour chaque obus, une partie des fragments atteint le but avce une force vive insuffisante;

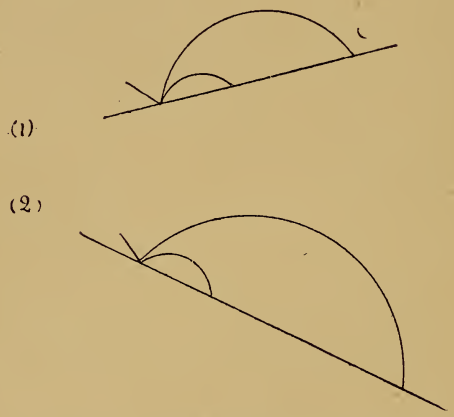


Fig. 31. — Gerbe de l'obus percutant tiré contre un terrain (1) montant (2) descendant.

3° La nature et l'inclinaison du *sol* (fig. 31), ses ondulations, des abris légers et bas, tels qu'un treillis de cordes, un havresac, amoindrissent ou annulent les effets de ce tir.

B. Obus fusant. — Lorsque l'obus éclate en l'air, les balles et les éclats se séparent. Chacun d'eux, animé d'une vitesse propre, prend une direction particulière et continue son mouvement vers la terre, c'est-à-dire dans le sens général de la trajectoire suivie par l'obus, tout en subissant une certaine déviation latérale du fait de la force explosive de la grenade et du mouvement de rotation de l'obus.

Comme tout est symétrique dans l'obus au moment de l'explosion, ses débris les plus éloignés de l'axe s'écartent de la trajectoire de la même quantité, en bas, en haut et sur les côtés, et par suite l'ensemble des trajectoires secondaires sillonne dans l'espace un cône droit à base circulaire. Puis, chaque projectile secondaire obéissant à l'action de la pesanteur, sa trajectoire s'incurve et finalement, l'axe de la *gerbe* et les deux tracés que donne sa représentation sur une feuille de papier sont non des droites, mais des courbes. Ceci, du reste, nous importe peu ; plus intéressante est la répartition des projectiles dans l'intérieur de la gerbe.

Lorsque la charge d'éclatement se trouve

dans un tube central, placé suivant l'axe de l'obus, la gerbe présente un vide intérieur qui ne contient que la fusée et le culot intact ou fragmenté : la gerbe est dite *creuse* (fig. 32). Si la charge est disposée à l'arrière ou à l'avant du projectile, la gerbe est *pleine* (fig. 33), c'est-à-dire que les projectiles sont répartis à peu près uniformément dans son intérieur.

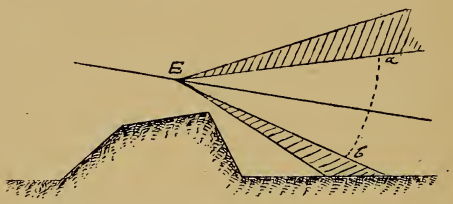


Fig. 32. — Gerbe creuse. L'espace *a b* ne reçoit pas de projectiles.

Nous prendrons comme type de description la *gerbe pleine,* qui est de beaucoup la plus fréquente.

Dans cette gerbe descendante du projectile fusant, seul nous intéresse le segment inférieur, tronc de cône oblique compris entre les deux bases formées, la première par un plan idéal rasant, selon le cas, les têtes des hommes couchés, à genoux, debout ou à cheval, la seconde par le sol. Sur celui-ci supposé horizontal, la

gerbe dessine une ellipse. Pour donner une idée de la surface battue, l'on peut admettre schématiquement que l'obus de 90, à 2,500 mètres, couvre de ses projectiles une ellipse de 150 mètres comme grand diamètre, sur 25 à

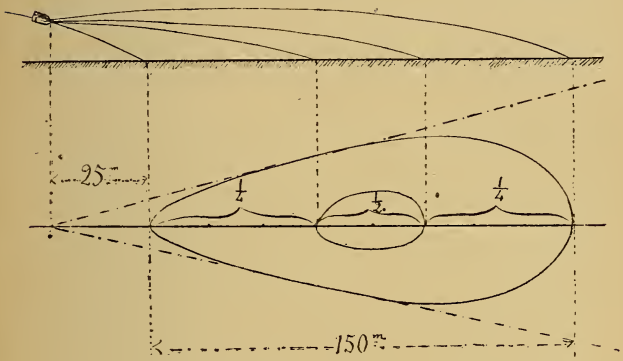


Fig. 33. — Gerbe d'éclatement de l'obus fusant de 90, à 2k500.

30 comme petit. Sur cette ellipse, les projectiles secondaires ne sont pas répartis uniformément. Dans les trois premiers huitièmes, il y a un quart des coups, dans les deux suivants la moitié, et dans les trois derniers, le quart (fig. 33).

En réalité, la *zone dangereuse* est plus allongée que l'ellipse dessinée sur le sol par la gerbe ; à l'arrière de celle-ci, un homme est

atteint, dès que sa tête rencontre la trajectoire de l'éclat le plus superficiel de la partie arrière de la gerbe. — Au delà, arrivent sur le sol des ricochets qui peuvent blesser loin du point de chute.

L'étendue de l'ellipse est, en outre, modifiée par la *pente du terrain*. Lorsque celui-ci est ascen-

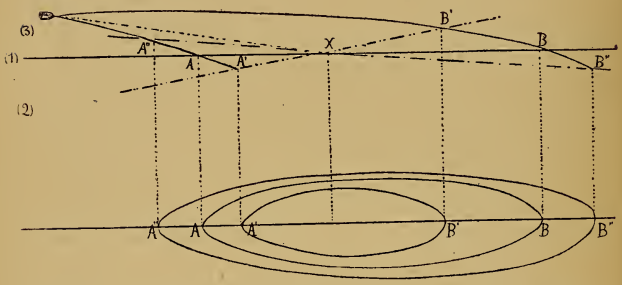


Fig. 34. — Gerbes de l'obus fusant suivant qu'il éclate au-dessus d'un terrain : horizontal (1), ascendant (2), descendant vers le but (3).

dant vers le but, la surface battue A′ X B′ (fig. 34) est moins étendue que dans le cas de terrain horizontal A X B et surtout dans le cas de pente descendante A″ X B″. Bien que le nombre des projectiles secondaires soit le même dans les trois conditions, comme, dans le cas de pente ascendante, leur éparpillement se fait sur

une moindre surface, les hommes qui s'y trouvent sont plus exposés et, en outre, leurs blessures risquent d'être plus graves, les projectiles secondaires ayant parcouru un moindre trajet, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par l'examen de la figure 34.

La *hauteur à laquelle l'obus éclate* au-dessus du sol (fig. 35) influe aussi sur le nombre et la gravité des blessures. Tandis que les éclatements

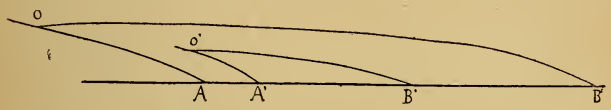


Fig. 35. — Gerbe de l'obus fusant suivant sa hauteur d'éclatement.

hauts dispersent beaucoup les projectiles secondaires et risquent de ne faire arriver les éclats sur le but qu'avec une force de pénétration insuffisante, les éclatements bas, au contraire, donnent lieu à une faible dispersion, concentrent l'effet du projectile et laissent aux projectiles secondaires un moindre trajet à parcourir, d'où pour eux une puissance vulnérante plus grande.

L'*influence de la portée* doit aussi être mise en relief. L'artillerie recherche surtout un tir

rasant, dans le but de balayer le terrain de la lutte sur une grande profondeur. Mais, comme la trajectoire de l'obus s'incurve de plus en plus à mesure que le but s'éloigne, il arrive qu'aux portées très éloignées, il tombe de plus en plus à pic vers le sol. Par suite, bien que l'ouverture de la gerbe s'agrandisse de plus en plus du fait du ralentissement du projectile, pour augmenter encore la dispersion des projectiles secondaires, on augmente la *hauteur d'éclatement*. Celle-ci est égale au 4/1000 de la portée, ce qui donne :

Pour une distance de	1500^{m}	une hauteur d'éclatement de	6^{m}.
—	2000	—	8
—	2500	—	10
—	3000	—	12
—	3500	—	14

Le trajet des projectiles secondaires s'en trouve augmenté et leur puissance vulnérante affaiblie.

En résumé, la direction des projectiles secondaires, depuis le point d'éclatement de l'obus jusqu'à terre, est très variable. Dans le tir à des distances relativement courtes, jusqu'à 3,000 mètres, l'axe de la gerbe forme avec le sol sup-

posé horizontal un angle aigu ; mais celui-ci s'ouvre de plus en plus, à mesure que l'obus éclate plus loin du canon. Il en résulte qu'aux courtes distances, les hommes debout pourront être transpercés dans le sens de l'épaisseur du corps, et dans les coups à grande distance, les sétons tendront à s'allonger suivant l'axe longitudinal du corps.

La *longueur du trajet* de ces mêmes projectiles secondaires (ainsi, du reste, que nous l'avons indiqué à propos de l'influence de la pente du terrain sur la figure de la zone battue) est aussi très variable. Pour s'en rendre compte, les artilleurs mesurent l'*intervalle d'éclatement*, c'est-à-dire l'intervalle entre les deux verticales passant par le point d'éclatement du projectile et le point où sa trajectoire prolongée (axe de la gerbe) rencontre le sol. Il est généralement égal au quart de la vitesse restante. L'intervalle d'éclatement le plus favorable serait de 50 mètres. Mais, aux faibles distances, on peut compter encore sur une efficacité suffisante, même avec un intervalle d'éclatement de 150 mètres. Au point de vue chirurgical, il convient de tenir grand compte de cette longueur du

trajet parcouru par les projectiles secondaires avant de frapper l'homme, car ils perdent relativement vite leur force de propulsion et, par suite, leur puissance vulnérante.

§ 5. — Puissance vulnérante des obus à mitraille et à balles.

De tout ce qui précède, il ressort combien il est difficile de prendre une idée exacte de la résultante de toutes ces données, à savoir la *puissance vulnérante* du projectile secondaire, au moment où il atteint un homme.

Cette puissance vulnérante dépend pour chacun des projectiles, de sa force vive F, que mesure le demi-produit de la masse (m) par le carré de la vitesse (v) de l'éclat ou de la balle, d'après la formule $F = \frac{1}{2} mv^2$.

Etant donnée la variabilité de la masse sinon des balles renfermées dans les obus, du moins de leurs éclats, dans la formule précédente m est variable et si l'on se reporte aux descriptions antérieurement données des éclats, l'on constate que relativement peu nombreux sont ceux

dont la masse rappelle, même de loin, celle des anciens projectiles d'artillerie, des *gros projectiles* d'autrefois. Les gros projectiles, en réalité, ont à peu près disparu. Actuellement, l'artillerie tend à réduire le rôle des éclats et à ne tenir pour agents vulnérants, dans les obus destinés aux troupes ennemies, que les balles qu'ils renferment. Ces balles elles-mêmes ne méritent plus, pour la plupart des obus de campagne, le qualificatif de balles de gros calibre, puisqu'elles pèsent de 10 à 15 ou 16 grammes, 20 au maximum. Par suite, pour que leur force vive suffise à produire des effets mécaniques puissants, il est nécessaire que leur vitesse restante, au moment du choc, soit élevée.

L'artillerie s'est efforcée de trouver une formule mathématique exprimant quelle devait être, pour causer une blessure capable de mettre un homme hors de combat, la vitesse restante (aux divers points de sa trajectoire, dans la gerbe d'éclatement) d'une balle dont le poids est connu. D'après le résultat d'expériences faites avec des balles sphériques, tirées dans des fusils de chasse, sur des animaux de poids très variés, la force vive nécessaire aux

balles pour percer la peau et pénétrer quelque peu dans les chairs serait proportionnelle au poids de l'animal et à la section du projectile. Nous ignorons quelle est la valeur de cette formule, mais *a priori* elle ne saurait être, sauf par l'effet du hasard, vraie quand il s'agit du tir sur l'homme. Elle est déduite d'expériences faites sur des animaux, dont la peau résiste autrement que celle de l'homme, et elle serait à appliquer à des combattants chez lesquels la résistance de la peau, différente suivant les régions du corps, se trouve augmentée plus ou moins par le vêtement et l'équipement.

D'après le commandant Journée, il suffirait à une balle de développer un travail de 2 kilogrammètres, par centimètre carré, pour percer la peau de l'homme et pénétrer dans les parties molles sous-jacentes. On briserait sûrement tous les os, lorsque la force vive F, exprimée en kilogrammètres et divisée par le chiffre indiquant la section du projectile en centimètres carrés S, égale le poids de l'homme ou de l'animal blessé P, divisé par 5 :

$$\frac{F}{S} = \frac{P}{5}$$

On entamerait et on fèlerait même les grands os, quand

$$\frac{F}{S} = \frac{P}{10}$$

Sans discuter ces données, on doit ajouter que les auteurs ne s'accordent pas entre eux et que, pour obtenir une blessure qui mette l'homme hors de combat, les uns réclament à la balle un travail de 4, les autres de 8 kilogrammètres. De fait, si l'on désire être fixé sans attendre l'expérience sur le vivant au cours d'une guerre, il conviendrait d'étudier sur le cadavre l'action des projectiles d'artillerie. En pratique, les faits priment les raisonnements et les formules.

Déjà, du reste, nous avons fait ressortir combien il est malaisé de se rendre compte de la *vitesse restante* aux divers moments de sa course d'un éclat ou d'une balle d'obus. Cette vitesse dépend, en effet, de facteurs eux-mêmes variables :

1° La vitesse restante du projectile au point d'éclatement;

2° Le mouvement provoqué par la charge d'explosion;

3° Le trajet parcouru par le projectile secondaire dans la gerbe d'éclatement ou dans un ricochet.

La *vitesse initiale* du projectile secondaire dépend du trajet parcouru par l'obus avant d'éclater (la charge d'éclatement n'a généralement pas une influence suffisante sur la propulsion des éclats, pour qu'il soit utile d'en tenir compte).

Sa *vitesse restante* dépend du trajet que lui-même a parcouru, et nous avons vu combien il était variable suivant des conditions multiples : hauteur d'éclatement, intervalle d'éclatement, inclinaison du terrain ; enfin, dans une même gerbe, la longueur du trajet varie beaucoup d'un projectile à l'autre.

L'autre élément de la force vive du projectile secondaire, sa *masse*, elle aussi, quand il s'agit des éclats d'obus, complique le problème. En effet, pour juger de l'action vulnérante, il y a lieu de tenir compte non seulement de la force vive du projectile, mais encore de l'étendue et de la forme de sa *surface*, conditions plus ou moins favorables pour vaincre la résistance du but frappé. Cette résistance proportionnelle

à l'étendue de la surface du projectile constitue un facteur important, puisque l'éclat d'obus en général est taillé à facettes qui en multiplient la surface. D'autre part, l'irrégularité de cette surface s'oppose, elle aussi, à sa facile pénétration. Hutton aurait expérimentalement établi qu'à volume égal une surface plane éprouve une résistance à la pénétration près de trois fois supérieure à la résistance opposée à une surface hémisphérique et deux fois supérieure à celle que subit un fragment cunéen.

Ces dernières données, relatives à la surface et à la forme du projectile, expliquent pourquoi l'on a recherché la régularité de fragmentation des obus, et aussi pourquoi l'on a préféré substituer des balles sphériques régulières aux éclats.

Un point demeure encore en discussion, c'est celui du *calibre des projectiles secondaires* fournis par l'obus, car il n'est pas encore prouvé que l'on ait eu raison de le réduire autant qu'on l'a fait. Les partisans de cette réduction escomptent, il est vrai, la multiplicité des blessures. La densité des gerbes, la répétition des coups aura pour effet de couvrir littéralement

de projectiles le terrain battu par l'artillerie. Malheureusement, cette *pluie de projectiles* constatée sur le champ de tir aura-t-elle sur l'ennemi un pouvoir d'arrêt suffisant? On en peut douter, si l'on accorde aux Européens la même dose de courage que celle déployée au combat d'Adouah par les Abyssins qui, en formations serrées, enlevèrent aux Italiens une batterie de 12 pièces de canons à tir rapide. Ces canons, dira-t-on, lançaient des obus à double paroi pesant seulement 1 kilogramme; mais cette objection ne vaut qu'à moitié, car les éclats, seuls intéressants comme corps vulnérants, pesaient encore 25 grammes.

Cette question du calibre des projectiles secondaires est laissée au second plan par les artilleurs qui discutent plutôt le calibre de l'outil vulnérant — l'obus — qu'ils ont en main, et la *rapidité du tir*. Pour accroître celui-ci d'une façon générale, l'on a diminué le calibre de l'obus de campagne et ainsi l'on a réduit moins le calibre de ses projectiles secondaires que leur nombre. Ce dernier inconvénient, en réalité, disparaît du fait de la rapidité même de la succession des obus éclatant au même point.

En effet, sans admettre comme pratique le tir tout au moins prolongé à une allure de 40 coups à la minute, même avec 10 coups, ce qui serait un minimum, le canon qui lance un obus de 3 kilogrammes projette, sur une surface assez bien limitée, 30 kilogrammes de métal dans une minute, ce qui est un poids bien supérieur à ce que peut lancer un canon ordinaire.

Quant aux *effets vulnérants* des obus, nous sommes réduits à des suppositions.

Il résulterait d'expériences de tir que la balle de plomb du schrapnel de campagne allemand, balle sphérique du poids de 13 grammes et du calibre de 13 millimètres, blesse un homme assez gravement pour le mettre hors de combat pendant un temps prolongé, lorsqu'elle est animée d'une vitesse de 110 mètres.

Comme il était facile de le prévoir, les tirs sur cible ont permis de constater que le rapport des trous au nombre des empreintes diminue rapidement quand la distance augmente. D'autre part, il a été expérimentalement établi qu'une levée de terre de très peu d'épaisseur arrête les projectiles secondaires ; un fantassin

assis dans une tranchée-abri et dont la tête ne dépasse pas le plan de défilement, est peu menacé par un tir fusant. Autrement, à défaut d'autre abri, le havresac garantit presque complètement un homme couché sur le sol, surtout si la pente du terrain est inclinée dans le sens de la trajectoire du canon ennemi. Le havresac frappé normalement du côté du dos résiste à peu près dans toutes ses parties, sauf aux angles, lorsque la force vive de la balle est supérieure à 60 kilogrammètres, ce qui correspond pour une balle de

15 grammes	à une vitesse au choc de		60	kilogrammètres
13 grammes	—	—	301	—
11 grammes	—	—	327	—

§ 6. — Qualités dynamiques et puissance vulnérante des obus allongés et des boîtes à mitraille.

1° *Obus allongés.* — L'éclatement de l'obus allongé suivant de plus près la détonation de la fusée que dans les obus chargés de poudre ordinaire, il en résulte que dans le tir percutant, aux distances où le projectile ne ricoche plus, l'obus éclate avant de s'en-

foncer en terre, il ne fait pas fougasse. Il éclate à la rencontre du sol en formant un *entonnoir* plus ou moins large et profond, et en raison même de sa puissance d'explosion, au lieu de projeter la terre hors de l'entonnoir sous forme de grosses mottes, il la pulvérise et cette poussière, quoique tout d'abord animée d'une énorme vitesse, ne tarde pas à retomber. Aussi, dans les terres meubles, l'entonnoir ne mesure-t-il guère plus de deux mètres de diamètre et cinquante centimètres de profondeur.

La production d'une *énorme quantité de gaz,* la mise en mouvement de *projectiles secondaires* viennent ajouter leur action nocive à celle des *éclats du projectile* lui-même, bien que l'obus ne soit pas destiné à agir directement contre le personnel.

L'enveloppe métallique de l'obus est brisée en un nombre très considérable de fragments, 2,000 à 2,500 pour les projectiles de campagne. Portés à une très haute température, très légers, ces éclats sont animés d'une vitesse initiale qui peut dépasser 1,200 mètres pour beaucoup d'entre eux. La *gerbe* qu'ils constituent n'est nullement semblable à celle des

obus ordinaires ; ils sont projetés en tous sens autour du point d'éclatement (fig. 36). Les fragments fournis par la portion cylindrique de l'enveloppe (*b*) sont les plus nombreux, ils forment une nappe normale à l'axe de l'obus, laquelle pour les obus de 80 et de 90 contient près de

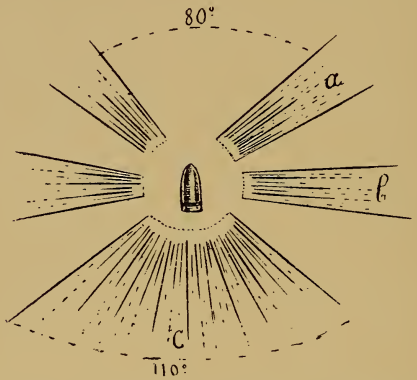


Fig. 36. — Répartition des éclats de l'obus torpille.

2,000 morceaux. Les éclats de l'ogive (*a*), au nombre de 120 environ, et ceux du culot (*c*), au nombre de 150, sont projetés suivant la tangente à la trajectoire, les uns en avant avec une très grande vitesse, les autres en arrière, avec une vitesse égale à la différence entre la vitesse imprimée par l'explosion de la charge et la vitesse restante tangentielle du projectile.

Ceux-ci constituent une nappe dirigée vers l'arrière, tandis que les éclats de l'ogive forment une gerbe conique très peu dense dirigée vers l'avant et dont la partie centrale est à peu près vide.

Ainsi constituée, la gerbe d'éclatement de l'obus torpille est surtout dangereuse pour le personnel qui, au moment de l'éclatement, est placé à une faible distance sur ses flancs. Par suite, une troupe cachée derrière un abri pourra être atteinte, sauf si elle est défilée sous un angle égal à la demi-ouverture de la gerbe, augmentée de l'angle de chute. L'expérience, il est vrai, a démontré qu'après un parcours de 35 mètres, très peu d'éclats conservent assez de vitesse pour traverser une planche de sapin de 20 millimètres d'épaisseur ; aussi, estime-t-on qu'à 1,500 mètres, la zone d'action de l'obus allongé de 80 ne dépasse guère 20 à 30 mètres, et celle de l'obus de 90, 30 à 40 mètres.

Tiré contre un mur ordinaire, l'obus allongé donne, au point de vue de la destruction du mur, des effets supérieurs de moitié à ceux de l'obus à mitraille et, tandis que ce dernier a peu d'action sur les défenseurs placés en ar-

rière de l'abri, l'obus allongé les atteint, grâce à la dispersion de ses éclats.

Pénétrant dans une chambre, grâce encore à la dispersion de ses fragments, l'obus allongé en blessera les occupants, tandis que l'obus à mitraille, dont la gerbe est relativement beaucoup plus étroite, risque de les épargner. Il est vrai que ce dernier est susceptible d'allumer un incendie, tandis que l'obus allongé en est incapable, même lorsqu'il fait explosion au contact de matières très inflammables.

Enfin, à 2,000 mètres, un obus allongé de 90 coupe un chêne de 30 centimètres de diamètre, déracine un arbre de 10 centimètres de diamètre et le projette à trois mètres. Plusieurs obus éclatant en l'air, à la rencontre de troncs ou de grosses branches, rasent un bois dans une certaine étendue à hauteur d'éclatement et sont, par suite, dangereux pour les troupes qui croieraient y trouver un abri.

Il n'est pas sans intérêt de signaler encore que, au moment où l'obus allongé éclate, les gaz de l'explosion produisent un ébranlement considérable de l'air : c'est le *souffle du projectile* qui, d'après les expériences sur les ani-

maux, provoque des effets dangereux dans une zone de 3 à 4 mètres autour du point d'éclatement.

Cette action du souffle de l'obus tiré à l'air libre est, en réalité, bien peu de chose, si on la compare à ce qu'elle devient, lorsque le projectile éclate en espace clos. Il faut alors, pour donner issue à la formidable quantité de gaz dégagée, que les parois sautent : c'est ainsi que dans les expériences de tir faites par la marine, on voit les cloisons et les ponts arrachés, les silhouettes en bois (qui figurent les hommes) déchiquetées. *Pas un être vivant n'échapperait* dans la zone d'action, d'autant plus que l'explosion produit un dégagement de vapeurs nitreuses qui interdit absolument, sous peine d'asphyxie, l'approche du local où elle a eu lieu : c'est à peine si on peut y entrer vingt minutes plus tard. Ajoutez à cela, que les obus de marine peuvent allumer des incendies.

L'esprit reste hésitant devant la puissance explosive de certains obus qui, utilisés par la marine, peuvent être employés dans la guerre de siège. Elle rappelle celle qui a été décelée par certains accidents ou certains atten-

tats anarchistes. D'ailleurs, il est impossible de prévoir où l'artillerie s'arrêtera. Maxim aurait étudié un canon lance-torpille de 60 centimètres de calibre, pouvant tirer des obus-torpilles chargés d'une tonne ou d'une 1/2 tonne de fulmi-coton humide, ou bien encore des projectiles contenant 500, 600, 1,000 kilogrammes d'acide picrique. Ce dernier obus pourrait être lancé à 9 kilomètres. Telle est la puissance destructive de ces engins que, faisant explosion à 25 mètres d'un cuirassé, l'obus-torpille chargé de 500 kilogrammes d'acide picrique le fait couler et celui de 1,000 kilogrammes peut, avec succès, n'éclater qu'à 50 mètres. N'en arrive-t-on pas à se demander si un jour, négligeant l'action mécanique des éclats et des balles, l'artillerie ne cherchera pas à arrêter l'ennemi par l'ébranlement gazeux? A la pluie de fer actuelle succèderait alors la tempête véritable.

2° *Boîte à mitraille.* — Lorsque le coup part la boîte à mitraille, tassée par la charge de propulsion prend la direction du pas des rayures. A la sortie de la bouche de la pièce l'enveloppe éclate et, devenues libres, les balles

s'échappent comme les grains de plomb dans le tir du fusil de chasse. Chacune d'elles suit une trajectoire, dont l'ensemble forme une gerbe fort analogue à celle que fournit l'obus fusant, après éclatement. L'ouverture de la gerbe mesure une vingtaine de degrés et la zone de dispersion est un cône de révolution. dont le sommet est à la bouche du canon et dont l'axe prolonge l'axe de la pièce.

Les différentes balles de cette gerbe possèdent des vitesses très variables, en moyenne celle-ci peut être estimée aux 8/10 de la vitesse qu'aurait un obus de même poids. De plus, les balles ne sont pas également réparties, elles sont rassemblées vers le centre de la gerbe ; enfin, elles subissent des ricochets qui semblent devoir augmenter le nombre des atteintes.

§ 7. — Action morale de l'artillerie.

L'artillerie n'intervient pas dans la lutte par la seule action vulnérante de ses projectiles, laquelle ne constitue que l'un des éléments de sa puissance de combat. A côté de l'obus, le *bruit du canon* joue un rôle de premier ordre,

sans toutefois suffire pour expliquer ce qu'on est convenu d'appeler l'*effet moral de l'artillerie*. Celui-ci est la résultante d'impressions multiples subies par les combattants du fait du tir du canon — en particulier des *impressions auditives* et *visuelles*. Faute, en effet, de notions suffisamment précises sur la physiologie du système nerveux, nous ne savons apprécier, comme il le conviendrait, l'effet produit sur l'organisme par l'*ébranlement aérien* dû à la déflagration de la charge du canon et à l'explosion des obus.

La *vue* des camarades qui tombent morts ou blessés influence les combattants. Sans doute, à notre époque, l'artillerie de campagne ne fait plus les blessures de jadis ; la balle du schrapnel ou l'éclat d'obus n'enlève pas un membre, ne brise pas un tronc comme les anciens boulets, mais la mise hors de combat simultanée d'un groupe de soldats impressionne tout autant ceux qui, restés indemnes sous les coups, attendent leur tour.

A ce point de vue, l'obus percutant aurait, d'après ses partisans, un effet moral supérieur à l'obus fusant. Tombant et éclatant avec bruit

au milieu d'une troupe, l'obus percutant auquel fait suite une gerbe d'éclats, de balles, de pierres et de terre, se crée, dans un groupe en formation serrée, une trouée véritable. Les effets plus concentrés sont par là même plus apparents que ceux de l'obus fusant. Celui-ci éclate au-dessus de la tête des combattants, non seulement à une certaine hauteur (10 à 15 mètres) mais encore à quelque distance en avant d'eux (une cinquantaine de mètres) et il produit un bruit d'explosion relativement faible. Il est vrai que la succession des éclatements contribue à renforcer le son et que la grêle de projectiles couvre de nombreux combattants dispersés en tirailleurs.

Plus encore que l'artillerie de campagne, l'artillerie de siège provoquera ces spectacles émotionnants, si l'on s'en rapporte du moins à l'expérience des combats sur mer. A Yalu, un projectile de 30^{cm},5 tue 30 hommes et en blesse 70, à bord du vaisseau amiral japonais. —Sur un autre navire, un projectile semblable tue 14 marins et en blesse 27. L'effet d'un obus de 21 centimètres se traduit par 8 morts et 3 blessés. Enfin 4 matelots sont tués et 6

blessés par l'explosion d'un obus de 50 millimètres.

L'influence sur le moral de la troupe des *impressions auditives* est plus appréciable encore. Ces impressions sont de deux ordres, les unes, favorables pour ainsi dire, résultent pour les servants de la pièce, de la déflagration de la poudre, — les autres, défavorables, sont causées par l'explosion de l'obus ennemi.

Si l'on analyse la détonation d'une arme à feu, on est amené à lui reconnaître une grande complexité. Ce bruit, en effet, se compose des sons auxquels donnent naissance : 1° les *vibrations du canon de l'arme* provoquées par le passage du projectile ; 2° *celles qui résultent de la transmission du mouvement aux parties accessoires et aux objets voisins* de la pièce (affûts métalliques, tourelles, etc.); 3° *celles dont est animé le projectile lui-même* au moment de sa sortie du canon où il a été frotté ; 4° et 5° enfin, *les ondes aériennes déterminées par le projectile en marche et par les gaz dus à la déflagration.*

1° *Les vibrations du canon,* dans les armes où le projectile subit un forcement, résultent

du frottement longitudinal qu'il exerce sur les parois et de la distension qu'il leur imprime.

Dans sa marche en avant, l'obus (ou la balle) tend à entraîner dans le sens de son mouvement chacune des sections successives du canon. Celles-ci se trouvent par suite étirées, s'allongent, puis presque aussitôt échappent à l'effort et reviennent en arrière ; mais, dépassant leur position naturelle, elles oscillent à la manière du pendule.

Les vibrations ainsi produites dans le sens de la longueur de l'arme sont dites longitudinales. On peut les comparer à celles de l'instrument musical appelé xylophone. Quand on tient fortement en son milieu une tige de bois de sapin plus ou moins longue, si on la serre entre le pouce et l'index de l'autre main, soit mouillés, soit saupoudrés de colophane, et si on fait glisser ces deux doigts le long de la tige, ce frottement détermine un son très pur, musical, dont la hauteur dépend de la longneur de la tige, mais est toujours très élevé. On rapprochera encore les vibrations longitudinales qui nous occupent de celles qui engendrent ces grincements excessivement aigus, si pénibles

pour l'oreille, produits par certains frottements de pièces métalliques.

Dans sa marche en avant, à l'intérieur du canon dont le calibre est inférieur au sien, le projectile provoque encore sur chaque section transversale une dilatation qui, après son passage, est suivie d'un rétrécissement; de là, donc, une vibration double, cause du son. Il faut, à ce point de vue particulier, se figurer l'effet du projectile dans l'âme de la pièce comme celui d'une tige que l'on fait passer à frottement entre les deux branches un peu convergentes d'un diapason et qui le met en action. Aux vibrations longitudinales précédentes s'ajoutent donc des vibrations transversales.

Si, comme cela avait lieu dans les anciens canons, il n'y a pas de forcement de l'obus, alors cependant il se produit aussi des vibrations transversales, grâce au ballottement du projectile et aux chocs successifs qui en résultent contre les parois. Aux points du choc, les particules métalliques refoulées d'abord reviennent à leur position première, la dépassent, puis oscillent transversalement par rapport à l'axe du canon.

On peut se rendre compte de ces vibrations en plaçant, une fois le coup parti, le doigt sur la tranche du canon et sur la surface du tube ; on sent très bien ainsi les deux espèces de vibrations. Leur résultante est un son métallique (dû surtout aux longitudinales) qui, de même que les vibrations, est modifié par la longueur, le calibre, la nature du métal de la pièce, le mouvement du projectile. D'autant plus aigu que le canon est plus court et de plus petit calibre, ce son devient moins perceptible pour les grosses pièces de côte. Avec les obus en acier, le son est très métallique ; avec ceux en fonte, il est moins pénible : enfin, les canons en bronze rendent un son de cloche qui se confond avec celui produit par le choc de l'air rentrant brusquement dans l'âme. Quant à l'influence du mouvement du projectile, elle nous échappe, son passage dans le tube est de si courte durée (un centième de seconde) !

2° S'il est possible de se faire une idée des modes suivant lesquels le canon de l'arme vibre, il n'en est plus de même quand on cherche à étudier les *vibrations fournies par les autres pièces* qui la constituent, en particulier

les affûts métalliques des obusiers de campagne, les tourelles dans les forts et sur les navires. Nous ne ferons que signaler cette source de bruit. Son importance doit être minime, car la construction de l'arme réclame qu'elle soit réduite au minimum, afin de prévenir les détériorations que causeraient, dans l'ensemble de la pièce, les vibrations transmises à chacune des parties.

3° On a vu que, sous l'action du projectile, le canon entre en vibration ; or, la réciproque est vraie. Le *frottement de la balle dans l'âme* la fait vibrer. Le frottement subi par la ceinture de l'obus pendant le forcement, les chocs éprouvés par les obus qui ballottent dans l'âme aboutissent au même résultat ; d'où un son perceptible au moment où le projectile quitte l'arme. Ce son métallique varie, lui aussi, suivant les conditions précédemment énoncées à propos des vibrations du canon.

4° L'obus, comme la balle, par son *passage dans l'air*, engendre encore un bruit, sifflement à timbre surtout métallique qui résulte et des vibrations du projectile frotté par l'air, et des ondes aériennes que son mouvement détermine.

Ce son est d'autant plus fort que la section du projectile est plus grande, et il est d'autant plus aigu que la vitesse de ce dernier est plus considérable.

5° Une dernière cause de bruit plus facile à étudier réside dans l'*expansion des gaz* qui s'échappent de l'arme, le *vent*, qui seul est généralement accusé de produire des accidents. Un volume de poudre, dans le tir du canon, donne 760 volumes de gaz ramenés à la pression atmosphérique : on aura de suite une idée de la masse gazeuse produite, si l'on songe à sa température à la bouche de l'arme (2,300 à 4,000 degrés centigrades suivant les auteurs) et au poids des différentes charges (de 1 à 30, 60, 400 kilogrammes).

Quand ces gaz sortent du canon, ils sont animés de la même vitesse que le projectile et cette vitesse varie de 250 à 600 mètres. De là résulte que le coup produit dans l'air une onde condensante immédiatement suivie d'une onde dilatante, ensuite une série d'ondes doubles du même genre, d'amplitude décroissante.

Tels sont les bruits produits par la détonation

du canon et, d'une façon générale, par la détonation d'une arme à feu.

Quant au bruit qui résulte de l'*explosion de l'obus*, lui aussi est complexe, car au bruit qui résulte de l'expansion des gaz fournis par la charge d'éclatement, s'ajoutent les bruits engendrés par les vibrations propres de chacun des éclats et des balles.

Non contents de la suppression presque complète des jets de flamme et de fumée, grâce à l'emploi des poudres actuelles, certains pensent à supprimer le bruit qui résulte de leur déflagration dans l'arme. Après être devenu à peu près invisible pour l'ennemi, le canon deviendrait *aphone* et ainsi disparaîtrait le dernier indice susceptible de déceler à l'adversaire d'où viennent les coups qui lui sont portés.

Sans doute, ne plus être vu, ne plus être entendu constitue pour le tireur deux avantages évidents, mais le dernier tout au moins n'est pas sans offrir quelque inconvénient. Le bruit, que le soldat produit lorsqu'il décharge son arme, n'est pas sans réagir dans une certaine mesure sur son système nerveux, et cet état particulier, que l'on est convenu d'appeler l'exci-

tation de la lutte, résulte en partie des impressions subies par les nerfs auditifs. Nombreux sont les gens qui, la nuit, se donnent du courage en chantant : entendre sa propre voix au milieu du silence est un stimulant incontestable. Identique est l'influence des sons que le combattant, au milieu du vacarme du champ de bataille, tire de son arme.

Diminuer ou supprimer ce bruit, le *bruit ami*, n'est-ce pas renforcer l'influence fâcheuse du *bruit ennemi*, du bruit qui fait peur parce qu'il annonce l'explosion des obus de l'adversaire, la venue des projectiles ?

Certes, pareille considération n'arrêtera pas, le jour où, le problème résolu, l'art militaire aura établi la supériorité du canon aphone ; mais par contre, dès maintenant, il convient de noter qu'il y a tout avantage à ce que le projectile parle haut et fort, quand il aborde l'ennemi. Ceci est particulièrement utile au moment de l'effort suprême, lorsque le chef cherche la décision. Grâce à la concentration brusque, sur une zone limitée du champ de bataille, du feu de centaines de canons, l'action morale de l'artillerie manifeste toute sa puissance. Les

uns sont blessés, les autres sont tués, et ceux qui échappent au fer subissent l'impression terrifiante des bruits d'explosions multiples, du sifflement des balles, des cris des combattants, en un mot, d'un vacarme qui rend insensible à tout, souvent même aux impulsions de l'instinct de conservation.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

INTRODUCTION 1

PREMIÈRE PARTIE

PROJECTILES D'INFANTERIE

§ 1. — QUALITÉS PHYSIQUES 6

Forme, 6. — Calibre, 7. — Longueur, 11. — Poids, 12. — Constitution.. 13

§ 2. — QUALITÉS DYNAMIQUES. 17

1° *Mouvements du projectile*. 17

Vibrations, 17. — Mouvement de propulsion, 18. — Mouvement de rotation, 27. — Mouvements anormaux. 31

2° *Force vive*. 32

3° *Coefficient de pression*. 37

4° *Réaction du projectile au choc*. 40

Echauffement, 41. — Déformation. 47

§ 3. — MODE D'ACTION SUR LE CORPS HUMAIN. . . 63

A. Mode de résistance des tissus :

Cohésion, compressibilité, extensibilité, élasticité. 64

B. Mode de réaction des tissus à l'action des projectiles.. 68

Altération de structure, 68. — Mobilisation des parcelles des tissus. 74

C. Des conditions qui modifient l'action des balles. 86

D. De l'intervention de l'air atmosphérique. . . 89

§ 4. — LA ZONE D'ACTION DES BALLES, LEURS ZONES D'EFFETS SUR LE CORPS HUMAIN. 95

Zone dangereuse. — Ricochets, 95. — Zones d'effets. 101

§ 5. — Les balles des revolvers actuels d'ordonnance. 106
Qualités physiques, 106. — Qualités dynamiques, 108. — Action sur le corps humain. . 110
Conclusion. 110

DEUXIÈME PARTIE

PROJECTILES D'ARTILLERIE

§ 1. — Bouches a feu.. 116
§ 2. — Description des projectiles.
Gros projectiles. 121
Obus. 122
A. Projectiles destinés à agir contre les obstacles matériels : obus ordinaires, obus allongés, obus de rupture, obus incendiaires.. . 125
B. Projectiles destinés à atteindre le personnel : obus à fragmentation systématique, obus à balles. 136
Boîte à mitraille. 153
Mitraille des mortiers lisses. 156
Petits projectiles.. 156
§ 3. — Propriétés physiques des projectiles d'artillerie. 157
A. Avant l'éclatement: forme, calibre, longueur, poids, constitution. 158
B. Après l'éclatement : éclats d'obus, balles. . . 162
§ 4. — Qualités dynamiques et zones d'action des obus a mitraille et a balles et de leurs projectiles secondaires.. . . . 167
Obus percutant, 171. — Obus fusant. . . . 177
§ 5. — Puissance vulnérante des obus a mitraille et a balles. 184
§ 6. — Qualités dynamiques et puissance vulnérante des obus allongés et des boites a mitraille. 192
§ 7. — Action morale de l'artillerie. 199

Chartres. — Imprimerie Durand, rue Fulbert.